

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

KATEDRA NETKANÝCH TEXTILÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh postupu výroby recyklovatelných umělých trávníků

Concept of the production of recyclable synthetic grass

Autor:

Bc. JAN KOPEČEK

Vedoucí diplomové práce:

Ing. ONDŘEJ NOVÁK, Ph.D.

LIBEREC 2013

Zadání práce, prázdná

PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

V Liberci dne 24. 5. 2013

.....

Bc. Jan Kopeček
Vysoká nad Labem 209
503 31 Vysoká nad Labem

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji především Ing. Liboru Lašovi, výrobnímu řediteli umělých trávníků v JUTA a.s., za profesionální přístup k tématu, odbornou diskuzi, dodané materiály a umožnění testování v laboratořích JUTY ve Dvoře Králové nad Labem.

Také velice děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za příkladné vedení, odborné rady a doporučení literatury k danému tématu. Děkuji též laboratornímu technikovi Filipu Saterníkovi za profesionální instruktáž testovacích zařízení a rady při výrobě vzorků v poloprovozu FT TUL.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá recyklovatelností umělých trávníků. V teoretické části popisuje historii, materiály a technologie výroby tohoto povrchu včetně návrhů inovací ukotvení trávnickového vlasu. V experimentální části se nachází popis realizace návrhů a výsledky testování, shrnutí možností optimalizace výroby trávnicku šetrnějšího k životnímu prostředí i nastínění dopadů způsobených změnami materiálů a technologií.

KLÍČOVÁ SLOVA

umělý trávník, polymery, netkaná textilie, životní prostředí

ABSTRACT

This thesis deals with a recyclability of artificial turf. The theoretical part focuses on history, physical and chemical properties of this surface, including suggestions for innovation in fixing the turf fibre. The research was led to find an ideal environment-friendly polymeric composition. The experimental part firstly proposes description and results of tested methods and explores the possibilities of improvements in this production. Secondly it outlines economical aspects of tested materials and technology.

KEY WORDS

artificial turf, polymers, nonwovens textiles, environment

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA SYNTETICKÉHO TRÁVNÍKU	10
2.1.1 Historie a vývoj produkce umělého trávníku	10
2.1.2 Technologické postupy výroby	12
2.2 MATERIÁLOVÉ SLOŽENÍ VSTUPNÍCH SUROVIN A JEJICH PŘÍPRAVA	18
2.2.1 Vlákna vlasu	18
2.2.2 Pryž pro ukotvení vlasu	19
2.2.3 Mechanická a chemická odolnost pryže	21
2.2.4 Aplikace syntetických pryží	22
2.2.5 Ekonomické aspekty výroby	23
2.3 POKLÁDKA, ÚDRŽBA A TRVANLIVOST UMĚLÉ TRÁVY	23
2.4 LIKVIDACE POUŽITÉHO TRÁVNÍKU	24
2.4.1 Skládkování	25
2.4.2 Spalování	25
2.4.3 Regranulace	26
2.5 ZKOUŠENÍ FOTBALOVÉHO TRÁVNÍKU DLE METODIKY FIFA	27
2.5.1 Laboratorní testování fotbalových trávníků	28
2.5.2 Simulace používání	30
2.6 NÁVRH PLNĚ RECYKLOVATELNÉHO TRÁVNÍKU	31
2.6.1 Podmínky pro výrobu nového produktu	33
2.6.2 Nahrazení SBR zátěru	34
2.6.2.1 Využitím termoplastických vlastností trávníku a tavenin	35
2.6.2.2 Využití disperzí a pěn	36
2.6.3 Stručné shrnutí návrhů ukotvení vlasu trávníku	37
2.7 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI DP A PŘEDPOKLADY EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI	38
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
3.1 POPIS POUŽITÝCH MATERIÁLŮ PRO VÝROBU VZORKŮ	39
3.1.1 Vzorky trávníku	39
3.1.2 Netkaná textilie	40
3.1.3 Tavné lepidlo	40
3.1.4 PE-LLD fólie	40
3.1.5 Tavenina polyetylenů	40
3.1.6 Vodné disperze	41
3.1.6.1 Polyvinylacetátová disperze	41
3.1.6.2 Polyuretanové disperze	42
3.1.6.3 Polyetylenové disperze	42
3.2 POUŽITÉ METODY TESTOVÁNÍ	43
3.2.1 Zkouška tepelná odolnosti	43
3.2.2 Zkouška pevnosti ukotvení vlasu	44
3.3 VÝROBA VZORKŮ A VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ	45
3.3.1 Využití termoplastického chování samotného trávníku	45
3.3.2 Povrstvení rubové strany netkanou textilií	47
3.3.3 Aplikace tavného lepidla	49
3.3.4 Zažehlování PE-LLD fólie	50
3.3.5 Ukotvení nízkoviskózní PE taveninou	50
3.3.6 Využití disperzí	51

3.3.6.1 Polyvinylacetátová disperze	52
3.3.6.2 Polyuretanové disperze	53
3.3.6.3 Polyetylenové disperze	54
3.3.6.4 Pěněná PE disperze	55
4 DISKUZE	58
4.1 VHODNOST VÝBĚRU JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ	58
4.1.1 Využití termoplastického chování samotného trávniku	58
4.1.2 Povrstvení rubové strany netkanou textilií	59
4.1.3 Aplikace tavného lepidla	60
4.1.4 Ukotvení laminací PE-LLD fólie	60
4.1.5 Povrstvení nízkoviskózní taveninou	61
4.1.6 Využití disperzí	61
4.1.6.1 Polyvinylacetátová disperze	61
4.1.6.2 Polyuretanové disperze	62
4.1.6.3 Polyetylenové disperze a pěna	62
4.2 ZHODNOCENÍ FINANČNÍ NÁROČNOSTI JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ	64
5 ZÁVĚR	66
6 LITERATURA	68
PŘÍLOHY	70

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

JUTA	JUTA a.s.
DP	díplomová práce
USA	Spojené státy americké
PP	polypropylen
EU	Evropská unie
PE	polyetylen
PE-LLD	lineární nízkohustotní polyetylen (z anglického „ <i>Linear low desity polyethylen</i> “)
SBR	styren-butadienová pryž (z anglického „ <i>Styren-butadien rubber</i> “)
PES	polyester
FIFA	Mezinárodní fotbalová asociace (z francouzského „ <i>Fédération Internationale de Football Association</i> “)
MFI	index toku (z anglického „ <i>melt flow index</i> “)
PNAS	americký akademický vědecký portál (z anglického „ <i>Proceedings of the National Academy of Sciences</i> “)
n; m	polymerační stupeň
UV	ultrafialové záření
3D	struktura ve třech dimenzích (x.y.z)
Pa.s	jednotka toku viskozity dle SI; $1 \text{ Pa.s} = 1 \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1} = 10 \text{ P}$
IČ	infračervené záření
PVAc	polyvinylacetát
TPU	termoplastický polyuretan
EPDM	pryžový granulát (z anglického „ <i>Ethylen-propylen-dien-monomer</i> “)
PAL	povrchově aktivní látka

1 ÚVOD

Na katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci se již po desítky let zabývají inovacemi textilních výrobků. Spolupráce s českými podniky má dlouhou tradici a v rámci prohloubení vědomostí studentů katedra organizuje pravidelné odborné exkurze do textilních podniků po celé České republice. Zde technologové a obchodní zástupci osobně předávají studentům své zkušenosti z výroby. V JUTĚ a.s. ve Dvoře Králové nad Labem, přesněji v závodě 15, byla zahájena před třemi roky výroba umělých trávnickových povrchů. Dnes portfolio firmy nabízí více než deset variant trávnicku a stále přidává nové produkty. Ve snaze o udržení stálých zákazníků a osvojení nových trhů JUTA investuje do nových technologií. Jelikož moderní zákazník dává důraz více na ekologii, zaměřil se vývoj směrem k plně recyklovatelnosti výrobků. Po domluvě s výrobním ředitelem závodu bylo zadáno téma diplomová práce spočívající v návrhu postupu výroby recyklovatelných umělých trávníků. Cílem práce je nalezení optimálního ukotvení vlasu trávnicku nahrazením v současné době používaného pryžového zátěru za recyklovatelný materiál. Autor v září minulého roku absolvoval v provozu podniku týdenní praxi se záměrem osvojit si technologie výrobního procesu a poznat všechny stránky výroby.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Základní charakteristika syntetického trávníku

V rešeršní části je popsána celá výroba umělého trávníku včetně použitých materiálů a surovin, jeho běžné aplikace a modifikace. Navazují kapitoly zabývající se jeho likvidací, testováním a v neposlední řadě i návrhem nového konceptu z plně recyklovatelných materiálů šetrnějších k životnímu prostředí.

2.1.1 Historie a vývoj produkce umělého trávníku

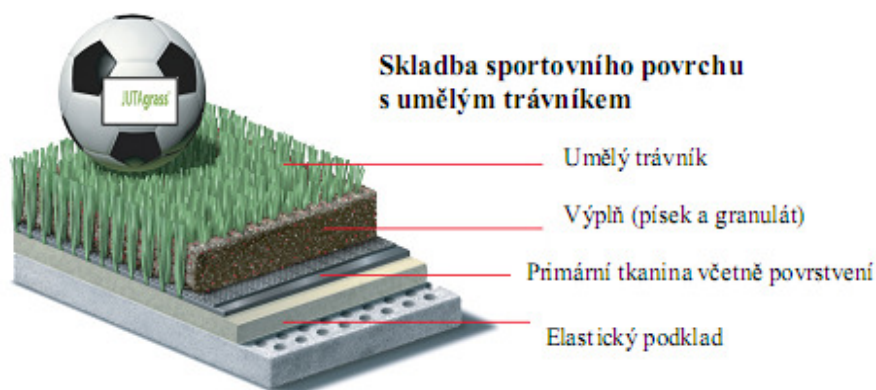
První technologií výroby syntetického trávníku se zabývali vědci na začátku druhé poloviny 20. století ve Spojených státech amerických (USA) pouhou inovací klasické výroby koberců. Náhradou přírodního trávníku syntetickým došlo k ulehčení péče o užitnou plochu a ušetření finančních nákladů na zavlažování. Odbyt byl převážně v jižních oblastech USA, kde je roční teplota výrazně vyšší než na severu země. Postupem času se tento povrch prosadil na sportovištích a před administrativními budovami. První trávníky byly technologicky jednoduché. Do polypropylenové tkaniny (PP) byly vsity pásy též PP, ale ty byly kvůli nízké mechanické odolnosti vytlačeny vlákny polyetylenovými (PE). Dnes je typickým zástupcem využití kopaná a například v pozemním hokeji je umělý trávník nezbytnou součástí profesionálního hřiště [1]. Zobrazení skladby trávníku je na obrázku 1, který pochází z technické dokumentace společnosti JUTA [5].

Aktuálně se čistě PP trávníky vyrábějí spíše pro rozvíjející se trhy mimo Evropskou unii (EU), případně pro nejlevnější produktové řady výrobního portfolia. Vlasy trávníku vyráběného dnes v JUTĚ, jsou již pouze z PE, přesněji z lineárního nízkohustotního polyetylenu (PE-LLD). Obsahují mnoho dalších aditiv na zlepšení nejen mechanických vlastností. Položený trávník se dříve zasypával pouze pískem, nyní se nejvíce používá kombinace písek – chemický granulát. Nosná tkanina z PP je zachována a z rubové strany se nanáší styren-butadienová pryž (SBR). Aplikuje se v podobě napěněné vodné disperze. Tato pryž znesnadňuje recyklaci, a zabraňuje tak možnosti znovu využití trávníků jako druhotné suroviny. Protože materiály PP i PE obsažené ve výrobku patří

do chemické skupiny polyolefinů, jsou to tedy opakovaně tavitelné polymery, tzv. termoplasty. Rubový zátěr je koagulovaná kopolymerní bloková disperze SBR.

Během sušení dochází k emulzní radikálové polymerizaci SBR. Dodané teplo v horkovzdušné komoře aktivuje peroxidové iniciátory, které naruší emulgátory disperze. Jejich přítomnost je nezbytná k oddělení monomerů svojí hydrofobní částí a tím vytváří kolem monomeru micelu s hydrofilní částí směrem do kapaliny. Elektricky nabitě povrchy se tak odpuzují. Následná polymerace probíhá výhradně uvnitř spojených micel. Rychlost reakce nejdříve vzrůstá, ovšem následkem spojování množství velkých micel dochází ke zpomalování procesu. Výsledkem je polymer, který obsahuje mnoho navzájem propletených polymerních řetězců spojených kovalentními vazbami [7].

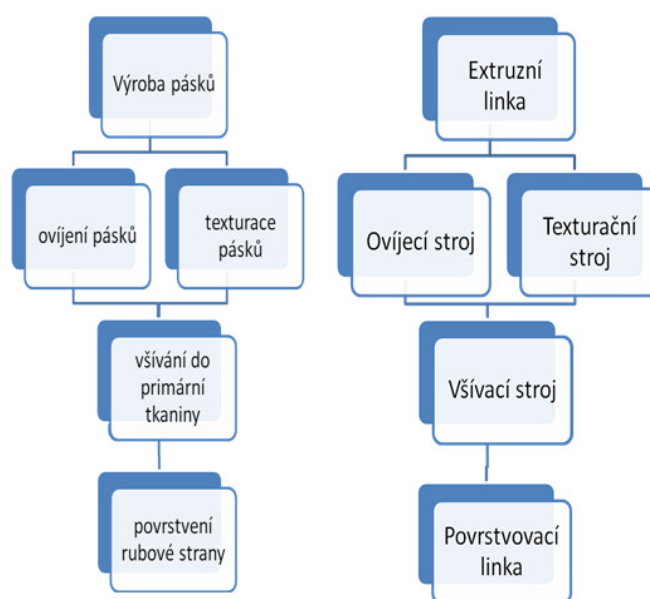
Tepelná energie potřebná k rozpadu všech vazeb je vyšší než energie, za které materiál degraduje, a tak se stává nerecyklovatelným. Ostatní materiály v trávniku je možno vracet do výroby v podobě regranulátu, a tak zvýšit ochranu životního prostředí. Znamená to, že poslední výrobní operace je příčinou, proč se umělý trávník stává ekologickou zátěží. Jediné reálné možnosti likvidace jsou skládkování a spalování.



Obr. 1 Znázornění složení umělého trávíííku [5]

2.1.2 Technologické postupy výroby

První etapou produkce je zajištění požadované kvality použitých surovin. Pravidelným náhodným odběrem vzorku dodaného materiálu se kontrolují významné parametry a vlastnosti, které musí být splněny v rámci objednávky. Vedoucí směny ověřuje nastavení strojů a zajišťuje tak chod výrobní linky a procesů výroby, viz obr. 2.



Obr. 2 Struktura výrobních procesů (vlevo) a přiřazených strojních zařízení (vpravo) [5]

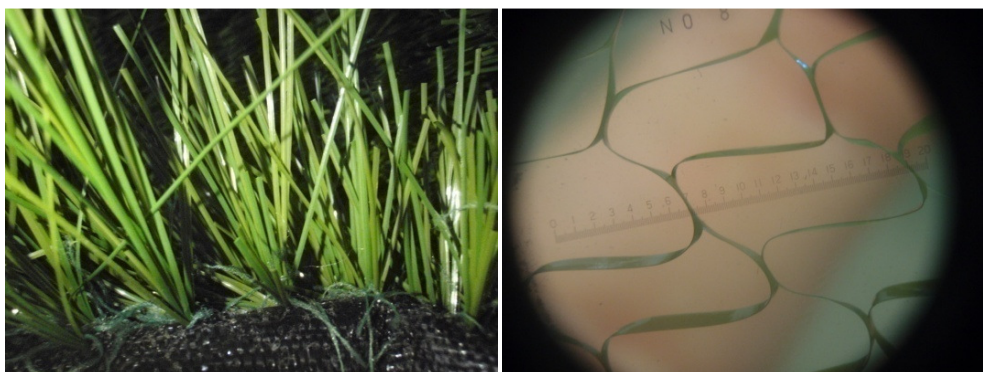
K mísení materiálů dochází ve směsném boxu, do kterého se pneumaticky dávkuje polymery, pigmenty, antioxidanty, stabilizátory a dalších speciálních aditiv. Následuje tavení směsi ve šnekovém extrudéru, kde se vše důkladně homogenizuje. Posléze se tavenina vytlačuje přes trysky. Kruhová hlava s tryskami je zachycena na obr 3.

Pro výrobu vláken se využívají v JUTĚ dvě metody. Na obr. 4a jsou vlákna vyrobena odtažením od kruhové trysky z taveniny při teplotě 230 °C s následným vodním chlazením. Výsledkem jsou samostatná vlákna, tzv. monofily, s tvarem daným průřezem trysky, která se dále v počtu 8-16 ovíjejí polyesterovým vláknem (PES), jak je popsáno dále v textu.



Obr. 3 Vytlačovací trysky s chlazením ve vodě, v pozadí směšovací zařízení a extrudér

Druhá vedlejší linka produkuje vlákna rozdílnou technologií. Z vytlačené fólie o šíři 1,2 metru vznikají přitlakem na řezacím válci 25 mm široké pásy, které se dále na nožovém válci prořezávají. Výsledkem jsou fibrilované pásy, které tvoří samotný trávnickový vlas s mnoha bodově spojenými vlákny, zobrazené na obr. 4b.



Obr. 4 Detail multifilů (vlevo 4a) s PES ovíjecím vláknem (světle zelené) již vsíté v černé PP tkanině, mikroskopický detail texturované pásy (vpravo 4b) v milimetrovém měřítku (zvětšeno 20x)

Následujícím krokem je dloužení. Monofily a fibrilované pásky jsou naváděny do vodní lázně (obr. 5), kde se při teplotě 90 °C a vlivu rozdílných rychlostech systému válců orientují polymerní řetězce vláken ve směru navíjení. Orientací řetězců se zlepší mechanické vlastnosti, např. elasticita, modul pružnosti v tahu, vyšší schopnost zotavení, odolnost proti třepení atd. [5]. Následným ochlazením se takové vlákno fixuje. Závěrečný krok první fáze výroby umělého trávničku je navíjení vláken na cívky. Délka vlákna na cívce je cca 9 km.



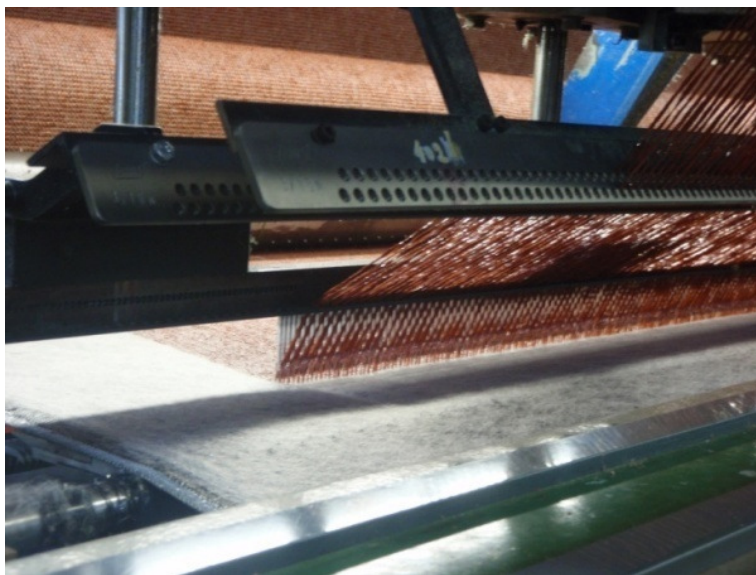
Obr. 5 Proces dloužení monofilů ve vodní lázni dloužícího stroje

Celá výroba je kontinuální kromě pravidelných technických kontrol a změn nastavení systému v třísměnném provozu. Spouštění vychladlé linky trvá i několik hodin a jen samotná výměna kruhové hlavy trysek trvá zhruba dvě hodiny. Výrobní proces je náchylný na výpadky elektrické energie z důvodu případného zatuhnutí polymerní směsi v extrudéru a tím následného ucpání systému vytlačovacích trysek polymerem.

Druhá část výroby se nazývá všívací. Aby bylo možné všít monofily v počtu 8-16 kusů jednou jehlou, musí být předtím ovinuty PES kábílkem. K omotání dochází na ovíjecím stroji a výsledným produktem je ovinutý multifil.

Pro zlepšení mechanických vlastností fibrilované pásky se využívá texturace vláken, která nastává při ohřevu materiálu na teplotu těsně pod teplotu měknutí, tedy přibližně 108 °C, a současném protahování mezi válci při zvýšeném proudění vzduchu, který vytváří přítlak. Autoři článku [18] se zabývají vlivem texturace na pevnost fibrilované pásky s ohledem na výrobu vstupních surovin. Souhrou zde zmíněných parametrů se vlákno v texturovacím stroji zkadeří a vznikají pravidelně opakující se záhyby. Ochlazením pásky dojde k fixaci již nového tvaru. Navíjení texturovaných pásek je prováděno opět na cívky.

Plné cívky se naskladní do cívečnice a navedou se do jehel všívacího stroje. Dostava a vzdálenosti jehel se nastavují dle parametrů požadovaného produktu až do šíře čtyř metrů. Na obr. 6 je zachycena navedená jehla, která prochází nejprve skrz PP netkanou textilií a následně nosnou tkaninu. Ve spodní části se multifil nebo páska zachytávají o řezací nůž. Jehla se vrací do původní horní polohy a následným posunem textilie ostří nožů prořezávají zachycená vlákna. Tím vzniká lící strana trávnicku. Metody všívání popisuje kompletně literatura [8].



Obr. 6 Etapa všívání PE-LLD pásek do PP nosné tkaniny zpevněné předvpichovanou netkanou textilií též z PP

Pokud je potřeba do trávniku zakomponovat například barevné pruhy, jehly se pouze naváží na barevnou cívku v cívečnici. Komplikované a kruhové obrazce se všívají ručně, což je časově náročné a zaměstnanec musí být také velmi pečlivý a zkušený. Pokud obsah cívky dochází, obsluha stroje ručně nasadí cívku novou a naváže. Případné chyby se kontrolují před navíjením na dutinku a opravují se ihned. Oprava trvá několik minut. Ručním vyšívačem se nastřelí vlas do PP tkaniny a následně zastříhne na výšku trávniku. Celý produkt se následně roluje a dopravuje k zátěrové lince.

Třetí etapa je nanášení SBR na rubovou stranu. Rychlost povrstvování záleží na specifikaci výrobku a pryžová disperze je stejnoměrně distribuována na povrch pojízďející hadicí, zobrazenou na obr 7. Homogenitě napomáhají přítlačné válce, které vyvinutým přitlakem zajišťují, aby disperze zatekla do všech prostor mezi vlákny. V horkovzdušné komoře dochází k ohřátí až na 130 °C na rubové straně. Iniciátory a katalyzátory následně spustí emulzní polymeraci uvnitř micel. Tím jak se zátěrový kopolymer vysouší při teplotě nad 100 °C, dochází během tohoto procesu v disperzi k shlukování molekul. Vytvoří se kovalentní a valenční vazby, čímž se zátěr zesiluje. Na opačné lící straně trávniku teplota dosahuje přibližně 70 °C, tedy hluboko pod teplotou měknutí vlasu a podkladové textilie.



*Obr. 7 Nános SBR dávkováním před válce s následným průtahem mezi
přítlačnými válci*

Výhodou této metody je, že vodná disperze se vnikne do všech prostor mezi vlákny a tkaninu, čímž po vytvrzení ukotví vlákna splňující hodnoty požadované normami Mezinárodní fotbalové asociace (FIFA) a interními nařízeními podniku.

Následně je povrstvený trávník ořezáván kontinuálně kotoučovými noži za účelem získání přesných rozměrů. Výrobní odpad, který je před etapou povrstvení pryží, se vrací do interního recyklačního systému JUTY a nachází využití jako sekundární materiál pro další výrobky. Stroj pracuje v šíři až čtyři metry při rychlostech v rozmezí 1 - 5 m.min⁻¹. Během koagulace je možné doplnit trávník o výztužnou mřížku, která ještě více eliminuje směrovou roztažnost.

Finální etapou je logistika hotového produktu. Dochází zde k prorážení odtokových děr o průměru 10 milimetrů, dále navíjení na dutinky, balení včetně označení a expedice do meziskladu. Na obr. 8 je vidět připravený zabalený trávník o šíři čtyř metrů včetně výrobního označení etiketou. Vyrábí se téměř vždy na zakázku a odběrateli se dopravuje kompletní trávník. Produkce je tedy prováděna výhradně na objednávku, nikoliv na předskladnění, aby došlo minimalizaci ořezů a zbytků.



Obr. 8 Role trávníku připravená k expedici a pokládce

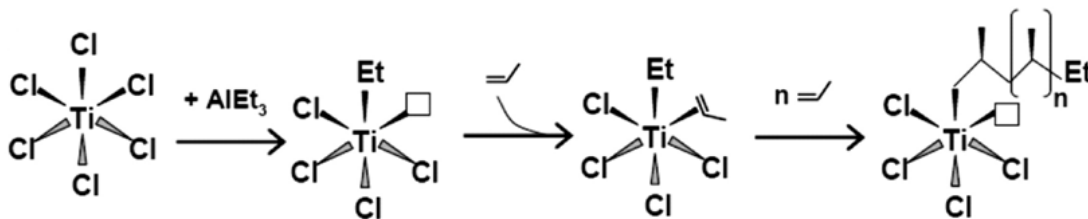
2.2 Materiálové složení vstupních surovin a jejich příprava

Suroviny v umělém trávniku jsou prvovýroby pro docílení stálosti kvality. Recyklované ořezy a zbytky jsou dále využívány v jiných výrobcích JUTA, např. pro výrobu velkoobjemových pytlů nebo technických netkaných textilií.

2.2.1 Vlákna vlasu

V jednom všívaném bodě se z vláken o počtu 8-16 monofilů, případně jedné fibrilované pásky, tvoří tzv. trávnickový vlas. Tento vlas je dnes vyráběn u kvalitnějších řad výrobků již pouze z PE-LLD. Finanční náročnost je u tohoto polymeru nižší než u nízkohustotního polyetyleny (PE-LD). Speciální polyetyleny se vyrábějí nejčastěji radikálovou polymerací za vysokého tlaku či pomocí Ziegler-Nattova katalyzátoru [7]. Prvky, které se u této polymerní reakci využívají pro katalyzaci jsou hlavně titan, hafnium nebo zirkonium jelikož jsou vysoce aktivní na vazbách, jak znázorňuje schéma na obr. 9 [15] na webových stránkách amerického vědeckého portálu (PNAS).

Schéma popisuje přeskupování etylenových skupin na polyetylenový polymer iniciací šestivazného titanu trietylalumiinem, kdy se molekuly navázaného chloru nahrazují monomery etyleny. Polymerní stupeň se ovlivní množstvím dodaného trietylaluminia. Ten aktivuje redukci kovu za vytvoření prázdného orbitalu. Výměnou, tzv. zráním, atomů se překryjí navzájem orbitály a vznikne π komplex [7].



Obr. 9 Schéma výroby etyleny (Et) pomocí Ziegler-Nattova katalyzátoru, v tomto případě titanu (Ti), n je polymerační stupeň, Cl značka chloru, AlEt_3 značka trietylaluminia [15]

Odstranění katalyzátoru u PE po polymeraci je vymýváním alkoholy. Výsledný PE má obvykle vysoký stupeň krystalinity z důvodu lineární struktury při výrobě [7].

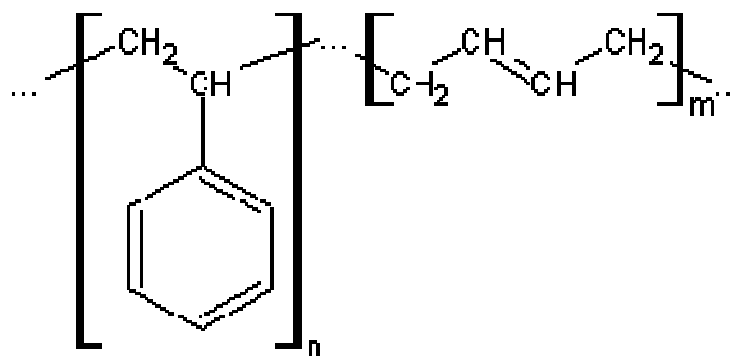
V řetězci polyetyleny se opakují monomery etylenu. Zastoupení krystalického podílu a metoda výrobního procesu ovlivňují výsledný produkt. Linearita dodává tomuto polyetyleny lepší mechanické vlastnosti, zvýšení pevnosti je hlavně citelné v testech třepení vláken. Tyto polyetyleny jsou typickým zástupcem semikrystalických termoplastických polymerů. Nelze tedy nikdy dosáhnout plné krystalinity. Vždy zde bude minimální zastoupení amorfních skupin.

Dalšími aditivy ve vláknech jsou barviva, plastomery, stabilizátory proti ultrafialovému světlu (UV) atd. Na povrch se aplikuje silikon pro zajištění lepších mechanicko-fyzikálních vlastností. Základní polyethylen nemůže být použit z důvodu horších mechanických vlastností a vyšší vstupní ceny suroviny. Tkanina z PP je zvolena, protože má vyšší pevnost a je levnější než tkaniny z jiných termoplastických polymerů. Vyrábí se v jiném přidruženém závodě, který patří též do skupiny JUTA. Mechanické vlastnosti u PP jsou dostačující. Rozměrové změny jsou eliminovány PP netkanou textilií, která je do této tkaniny předvpichována pro trávníky s vyššími nároky.

Ovíjecí PES kábílek monofilů bude v brzké době nahrazen materiálem, jenž má blíže k polyolefinům. Zátěr rubové strany je ovšem největší překážkou plné recyklovatelnosti. Vytvrzená disperze blokových monomerů kopolymeru styrenu a butadienu se stává nerozpustnou a netavitelnou. Problematika je popsána v další kapitole.

2.2.2 Pryž pro ukotvení vlasu

Styren - butadienová polymerní disperze je složena převážně z monomerů styrenu a butadienu, jak znázorňuje schéma na obr. 10. Výrobce je např. belgický EOC Belgium, divize kopolymerů. Různé koncentrace se připravují dle potřeby ředěním vodou v samotném výrobním závodě. Stupeň polymerace má vliv na mechanické vlastnosti. S přibývajícím podílem butadienu stoupá pružnost, naopak větší podíl styrenu zvyšuje pevnost. Nejčastější poměr mezi těmito monomery je v rozmezí 20 - 30 ÷ 70 - 80. Celá problematika výroby a využití pryže je detailně popsána v [6].



*Obr. 10 Strukturní vzorec SBR, vlevo je znázorněn styren, vpravo butadien;
značky n,m jsou zápisem polymeračního stupně [7]*

Dalšími prvky jsou plnidla na bázi polyakrylátů, která zjednodušují zpracovatelnost, a též zlevní výrobu. Saze snižují cenu výrobku a mají pozitivní vliv na mechanické vlastnosti. Dalším plnidlem je mletý vápenec, přesněji uhličitán vápenatý (CaCO_3) [5]. Změkčovadla naopak zvyšují plastické vlastnosti směsi, aby se snadněji nanášela na povrch. Přemíra změkčovadel zhoršuje mechanické vlastnosti pryže a musí být tedy jejich množství vhodně zvoleno. Podmínkou je také výborná mísitelnost s kaučukem. Antioxidanty v podobě sazí zamezují rychlému stárnutí pryže a zvyšují odolnosti proti povětrnostním podmínkám.

Faktory ovlivňující ukotvení vlasu SBR disperzí [5]:

- 1) typ vlasu (multifil x páska)
- 2) počet vláken v jednom trávnickovém vlasu
- 3) jemnost vláken, pásek
- 4) hustota vlasu (počet stehů na m^2)
- 5) aplikace výrobku – množství nánosu
- 6) koncentrace sušiny SBR
- 7) obsah vzduchu v pěně
- 8) přítlak válců [Pa]
- 9) rychlost posunu [m.s^{-1}]
- 10) dávkování disperze [g.s^{-1}]
- 11) teplota vytvrzování [$^{\circ}\text{C}$]

Disperzní činidla zajišťují separaci kopolymerů při skladování a aktivují se až při tepelném zpracování, tedy zajišťují vytvoření vazeb. Viskozita je v rozmezí 55 - 60 Pa.s. Potenciál vodíku je mírně zásaditý (pH 8,0 - 10,0). Barva je zajištěna barevnými pigmenty, nejčastěji se však využívá sazí, které zbarví zátěr do černa, jak popisuje výrobce sazí [16]. Obecně pigmenty vyžadují dobrou termickou odolnost a nesmějí negativně ovlivňovat proces vytvrzování.

Pro každou aplikaci trávnicku výrobce připraví kombinaci materiálů, aby nejvíce vyhovovala požadavkům zákazníka. S náročností použití trávnicku se zvyšuje gramáž zátěru pryže, viz tabulka 1 vycházející z [5]. Okrasné travníky jsou vyráběny v souladu se záručními podmínkami a danými legislativou. Pevnost ukotvení vlasu je tedy na výrobcu a záruka v České republice i EU na takový travník je dva roky. Pro aplikace s vyššími nároky na pevnost ukotvení vlasu se množství pryže zvyšuje.

Výroba	Materiál	Gramáž
PE pásek (vlas), multifil	PE-LLD	750 – 2000 g.m ⁻²
Podkladová tkanina	PP	130 – 172 g.m ⁻²
Povrstvení v suchém stavu *	SBR	800 – 950 g.m ⁻²

Tab. 1 Složení umělého trávnicku dané výrobcem

(* aplikováno vodnou disperzí 1250 – 1370 g.m⁻², koncentrace sušiny v disperzi je ± 70 – 80 %)

2.2.3 Mechanická a chemická odolnost pryže

Zátěr SBR je velice mechanicky odolný, je nerozpustný, stabilní za běžných podmínek a netavitelný. Mechanické vlastnosti jsou zde lepší než u přírodního kaučuku získaného z kaučukovníku brazilského (*Hevea brasiliensis*).

Protože je tato syntetická pryž 3D zesíťovaná nespočtem kovalentních a také vedlejších vazeb, např. Van der Waalsovými silami, je potřebná energie k rozpadu všech těchto přitažlivých interakcí vyšší než je energie, která je nezbytná k tavení pryže [6].

Aditiva ve směsi dodávají vlastnosti, jaké jsou požadovány aplikací. V případě umělého trávníku SBR zajišťuje ukotvení vlasu v PP tkanině a zároveň chrání vlas před oděrem o podkladový povrch.

2.2.4 Aplikace syntetických pryží

Tato pryž má v průmyslové výrobě veliké spektrum využití. Problematika recyklace již není tolik řešena, jelikož spalování a skládkování je jednoduché jak pro výrobce, tak pro spotřebitele. Postupem času s narůstající produkcí se zajisté bude hledat více alternativ šetrných k životnímu prostředí. Za dnešních podmínek není snahou recyklovat, protože to přináší povinnosti a nejistý zisk.

Seznam níže uvádí dnešní typické aplikace pryží [16]:

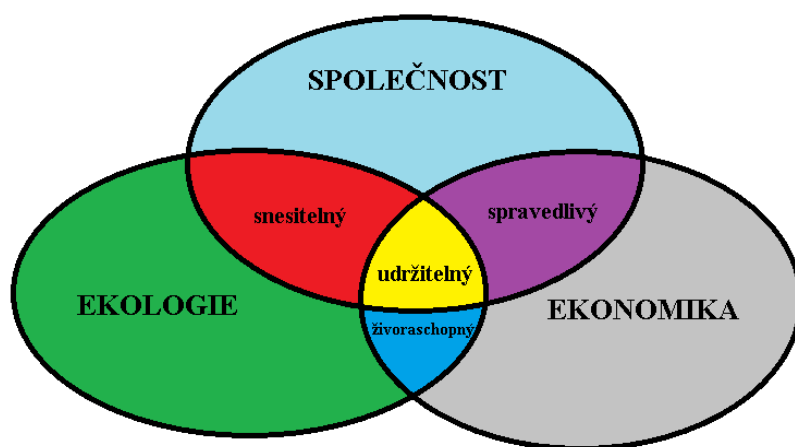
- pneumatiky
- podrážky
- zátěry koberců a umělých trávníků
- těsnicí desky
- hadice
- granuláty
- vnitřní duše u kol
- podlahoviny
- lepidla a impregnace
- izolační nátěry

Použitá SBR disperze neobsahuje síru na rozdíl od pneumatik, nevznikají zde sirné můstky a proces vulkanizace tedy neprobíhá.

2.2.5 Ekonomické aspekty výroby

Tato SBR pryž je používána více než půl století v textilním průmyslu a je snadno dostupná a nenáročná na aplikaci. Syntetická pryž se vyrábí z ropy, je tedy cenově závislá na aktuální hodnotě této suroviny na světových trzích. Všeobecně polymerní průmysl je velmi náchylný na jakékoliv změny cen vstupních materiálů, především díky světové nestabilitě v oblasti těžby nerostných surovin.

Využívá se v 60 % syntetických zátěrů [6]. Recyklace produktů je téměř nulová. I proto JUTA zajišťuje u svých výrobků inovace a snaží se o trvale udržitelný rozvoj, který je graficky znázorněn na obr. 11 převzatý z [22].



Obr. 11 Znázornění propojení systému do kompatibilního celku, kdy výsledek kombinací je trvale udržitelný rozvoj [22]

2.3 Pokládka, údržba a trvanlivost umělé trávy

Na předem připravený a zpevněný povrch se role trávníku rozloží dle nákresu, jenž je pečlivě navržen již při plánování výroby, aby se dospělo k co nejmenším ztrátám a zbytkovým odřezům. To platí jak u fotbalových hřišť, tak u okrasných trávníků.

K položení fotbalového trávníku musí dojít během jednoho dne na předem připravenou plochu, která musí splňovat regule dané *FIFA Quality Concept for Football Turf, Step by step to a FIFA Recommended football turf field* [2]. Při vícedenním pokládání vznikají rizika spojená s teplotními rozdíly mezi dnem a nocí a tím pádem k možnosti

roztažení či smrštění plochy trávníku. V případě pokládky částí trávníku s časovým odstupem může docházet ke změně rozměrů vlivem změn počasí, čímž se celý výrobek znehodnocuje. Pokládku realizují profesionální externí společnosti, které jsou řádně vyškolené. Během pokládky se navazující hrany role podlepují do jednoho celku přímo v místě realizace projektu dvousložkovým polyuretanovým lepidlem, např. Chemos TR 21 [21], a spojovací fólií.

Následně dochází k zasypání nejdříve pískem a navrch granulátem. Hmotnost písku zabrání materiálové roztažnosti a zabraňuje posuvu plochy. Výrobce doporučuje na zásyp nepoužívat běžný písek, jelikož musí splňovat parametry okrouhlosti a nesmí přesáhnout limitní hodnoty křídý z důvodu prašnosti. Typickým zásypovým pískem je křemičitý písek o velikosti $0,2 - 0,6 \div 0,8 - 1,2$ mm a hmotnosti zásypu $15 - 22 \text{ kg.m}^{-2}$. Při použití nekvalitního písku dochází k poškození vláken ostrými hranami a také vzniku prašnosti.

Následuje vyplnění trávníku polymerním granulátem buď z regenerované SBR pryže nebo pomocí surového kaučuku (ethylen-propylen-dien-monomer „EPDM“).

Rozměry granulátu jsou běžné v mezích $0,5 - 2,5$ mm při $11 - 13 \text{ kg.m}^{-2}$ zásypu [5]. Materiál EPDM je prvovýroba, tedy je přímo vyráběn na tento účel a dodá ploše měkkost, která je vyžadována zákazníkem k ochraně kloubních, vazových ale i svalových partií uživatele a pro ochranu pokožky při styku s trávníkem [19].

Pravidelně je potřebné strojní technikou granulát pročesávat. Tak se prodlouží životnost vláken a též se docílí homogenita povrchu. V zimě se sníh odklízí běžnou technikou, např. pluhy a hrably. Trvanlivost daná výrobcem je garantována na deset let ode dne položení.

2.4 Likvidace použitého trávníku

Trvale udržitelný rozvoj vyžaduje od výrobců inovace a snahy o snížení znečištění životního prostředí. Recyklací umělých trávníků lze dosáhnout změnou myšlení spotřebitelů a tím zvýšit zájem o třídění odpadu i v běžném společenském životě.

2.4.1 Skládkování

Nejčastější metodou řešení likvidace trávnicků je skládkování na veřejných skládkách, viz obr. 12. Doba rozpadu takové chemického výrobků je v řádech desítek až stovek let. Během postupné degradace navíc může dojít k uvolňování látek do půdy a podzemních vod. Skládkování musí být prováděno s povolením dle zákonů o ochraně přírody. Protože ovšem polymerní suroviny nejsou zatím nahraditelné a jejich objem je omezený, není vyloučené v budoucnosti těžba surovin právě z takových skládek. Možné je dnes velmi omezeně využívat skládky k výrobě bioplynů. Aplikace náhrady reaktoplastů za polyolefiny či biopolymery není dnes aktuální z důvodu vysoké ceny. Rizika skládkování jsou velká, hrozí úniky toxických látek a též jsou rizika rozlehlých nekontrolovatelných požárů.



Obr. 12 Skládkování není finálním řešením problematiky odpadů [11]

2.4.2 Spalování

Spalování je rychlý způsob řešení likvidace plastů za vzniku výhřevného tepla a elektřiny pro domácnosti a podniky. Je to možnost s velkým negativním vlivem na náš ekosystém. Spalování musí být realizováno při co nejvyšší teplotě, aby se spálily

i nebezpečné plyny, které při nedokonalém spalování vznikají. Při 100 % spalování se polyetylen mění na CO_2 a vodu v podobě páry. Ve výrobku ovšem není pouze tento polymerní materiál, ale i aditiva, která při spalování znečišťují a zatěžují ovzduší. Naopak výhřevnost polymerních výrobků je srovnatelná s minerálními oleji nebo ropou. Hlavními složkami vypouštěnými do ovzduší při nekvalitním spalování jsou oxid uhličitý, jedovatý oxid uhelnatý a nebezpečné polycyklické i těkavé uhlovodíky.

K zachycení toxických látek při spalování se využívají nejmodernější technologie filtrace včetně využití ultrazvuku, který za určité frekvence tyto nečistoty aglomeruje. Výsledkem je mnohem účinnější filtrace a menší finanční náklady na obnovu filtračních materiálů. Látky anorganické je schopna příroda kolem nás vstřebat a přeměnit základními biologickými procesy na látky organické. Víceméně převládá ve společnosti názor, že spalování je do jisté míry způsob recyklace, ovšem bez šance na získání primárního produktu, v tomto případě ropy. Tento způsob je však ekonomicky nejvýhodnější.

2.4.3 Regranulace

Třetí metodou je regranulace. Během tohoto procesu se trávník řeže a drtí na kousky. Přidává se do produktů, které nejsou jakostní, ale zároveň plní jistou funkci, např. z nich lze vyrábět ochranné zvukové bariéry u dálnic, syntetické povrchy příjezdových cest a hřišť, případně dlaždice a obrubníky k chodníkům. Princip regranulace je znázorněn na obr. 13.



Obr. 13 Znázornění regranulace pneumatiky [12]

Princip využití takového sekundárního materiálu je téměř identický s aplikacemi regenerulátů klasické pryže u pneumatik, ovšem neobsahuje síru. Finanční náročnost je v tomto případě vyšší, ovšem výsledkem je uspořená surovina pro další použití.

2.5 Zkoušení fotbalového trávníku dle metodiky FIFA

Kvalita trávníku je jednou z primárních podmínek pro úspěšný prodej. Fotbalová asociace doporučuje instalaci umělých profesionálních trávníků do oblastí horších mikroklimat či do uzavřených stadionů. Kvalitu vlastností tohoto umělého povrchu garantuje svými normami výrobce trávníků a FIFA. Důležité aspekty jsou odskok míče, pevnost ukotvení vlasu, odolnost a životnost trávníku, ale i hustota vlasu trávníku a barva apod. [3]

Pokud by nový recyklovatelný zátěr plnil podmínky pro fotbalové trávníky, je samozřejmě použitelný i pro okrasné a účelové trávníky. Fotbalové trávníky jsou nejvíce náročné na pevnost vlasu. Pro fotbal jsou certifikovány asociací dvě úrovně kvality trávníku, tzv. kategorie FIFA * a vyšší kvalita FIFA **. Testování probíhá v souladu s podmínkami danými předpisy.



*Obr. 14 Značení hodnoty kvality trávníku (vpravo v rohu),
tento trávník má parametry FIFA ** [2]*

Testování probíhá prvně laboratorně a posléze přímo na položeném hřišti. Na obr. 14 je zobrazen položený profesionální fotbalový trávník. Rizika spojená s používáním trávniku pro hráče popisuje článek [19], kde se autoři zaměřují na vliv umělého povrchu při skluzu na pokožku. Porovnávají běžný přírodní trávník s umělými hřišti více generací. Výsledek jasně potvrdil, že trávniky 3. generace a novější způsobují mnohem méně závažné zranění pokožky než technologicky starší umělé povrchy. Nejmenší poškození tkáně bylo zaznamenáno u přírodního povrchu.

2.5.1 Laboratorní testování fotbalových trávníků

Podmínky testování a popis dalších nezbytných kroků a norem pro získání certifikace je každoročně vydávány pro výrobce fotbalovou asociací, níže uvedené informace pocházejí z příručky *FIFA Quality Concept for Football*. Platnost podmínek pro certifikace FIFA je od 31. ledna 2012. Tetovací metody a normy jsou popsány v *Handbook of test methods* [3]. Při schvalování hrací plochy se vyžaduje dokumentace požadavků na základě *Handbook of Requirements* [4], vydané též fotbalovou asociací.

Laboratorní testování kategorie FIFA * [3]

- obecné testování vláken
- ukotvení vlasu dle ISO podmínek
- šoková absorpce při zmrzlém povrchu (- 5 °C)
- adaptace na mechanické zatížení – deformace

Testování již položeného trávniku dle kategorie FIFA *:

- adaptace na mechanické zatížení – deformace při hře
- kontrola výrobního procesu a celkové kvality

Laboratorní testování kategorie FIFA ** [3]

- adaptace na mechanické zatížení – deformace
- testování vláken
- ukotvení vlasu dle ISO podmínek

Testování již položeného trávnicku dle kategorie FIFA **::

- kontrola správného čárování a grafických zobrazení na povrchu
- úhlový odskok balonu mimo hřiště
- správná valivost míče a jeho zpomalení
- adaptace na mechanické zatížení – deformace při hře
- kontrola výrobního procesu a celkové kvality

Obecné testování pro oba typy trávnicku v laboratoři podléhá minimální síle ukotvení vlasu, kde je tahová síla ukotvení vlasu v nosné tkanině minimálně 30 N na jeden vlasový výstup, viz obr. 15. Tento test se opakuje i po lázni v horké vodě při 85 °C z důvodu teplotních změn a stálosti vláken. Jsou zde popsány i jiné parametry, které musí trávník splňovat, např. délky vláken, hustotu vlasu či šíři čárování. Dále se testuje srážlivost, barevná stálost, vodní propustnost, rozměrové změny vláken, kvalita granulátu i písku a mnoho dalších. Všechny metody a normy jsou uvedené v literatuře [3,4].



Obr. 15 Testování pevnosti ukotvení trávnickového vlasu

Teplota testování pro zimní období je nastavena na - 5 °C, celoroční subtropické teploty 23 °C a pro velmi teplé oblasti je aplikována teplota 40 °C. Testuje se za sucha i mokra. Je též sledována míra vlivu UV záření na degradaci trávníku, proto se simuluje střídání dne a noci za pomoci umělého osvětlení [4]. Každý rok dochází ke kontrole trávníku ze strany certifikačního úřadu FIFA [3].

Kontrola ukotvení vlákna probíhá na trhačím stroji, kdy je jeden vlasový výstup zachycen do čelistí. Následuje pohyb čelistí od textilie do požadovaného přepětí a začne tahová zkouška, která pokračuje až do vytržení vlasu z nosné tkaniny, případně do přetržení vláken. Vše je automaticky vyhodnocováno. Tento pokus se opakuje během výroby pravidelně jako jeden z mnoha kontrolních mechanismů kvality. Při nedodržení požadovaných hodnot je nutné změnit nastavení zátěrové linky.

Šoková absorpce je test dopadu chodidla sportovce dle testovací metody *FIFA Test Method 4a*. Test se simuluje zařízením obsahující pružinu, která pasivním akcelerometrem měří hodnotu napětí pružiny při následných dopadech až do úplného ustálení. Hmotnost dopadající zátěže je $20 \pm 0,1$ kg na oválnou plochu o rozměrech 500 ± 50 mm v délce a 70 ± 1 mm v šíři [3]. Teplota povrchu trávníku je - 5 °C.

2.5.2 Simulace používání

Pomocí testovacího stroje Lisport se simulují deformace způsobeny používáním. Testování probíhá odvalováním válce po povrchu trávníku zatíženém požadovaným přtlakem a opatřeného fotbalovými kolíky, viz obr. 16. Zařízení simuluje náhodný směrový pohyb hráče. Počet opakování pohybu válce je pro požadavky FIFA * 5 200x a pro FIFA ** 20 200x. To dle výpočtů odpovídá používání trávníku po dobu 10 let (předpokládaná doba životnosti) [3]. Testování mechanických deformací trávníku je nedílnou součástí notifikace hotového produktu. Vliv takového opotřebení musí být minimalizován pro zajištění kvality po celou dobu užívání.



Obr. 16 Testování simulace fotbalového využívání. [5]

Správná valivost a odskok míče jsou testy pohybu a chování míče po povrchu. Opět se testují za teplot od -5°C do 40°C za sucha i mokra. Míč musí mít přímočarý pohyb s přesnou valivou vzdáleností. Odskok dopadu míče musí být v mezích danými parametry, aby co nejvíce napodoboval přírodní trávnickové hřiště. Simulace těchto testů dochází na již položeném hřišti, čímž se též kontroluje celý proces pokládky.

Inovace produkce umělého trávníku je podmíněna splněním základních norem FIFA. Velký vliv má též profil vlákna, který výrobci optimalizují pro vyšší funkčnost a delší životnost. Producenti se snaží neustále zdokonalovat použité výrobní technologie i samotný produkt. Novinka na trhu musí garantovat kvalitu a zaujmout zákazníka. Recyklovatelný materiál pro ukotvení vlasu musí být důkladně testován, aby splnil všechny normy a požadavky na kvalitu trávníku. Od konceptu k velkovýrobě je zapotřebí testování jak laboratorního, tak praktického na zkušebních hřištích. Aktuálně se zkušebně vyrábí nejmodernější bezzásypový trávník 4. generace.

2.6 Návrh plně recyklovatelného trávníku

Jelikož světová produkce umělých trávníků sportovních, okrasných i užitkových stoupá je snahou předních výrobců pokrýt trh svými výrobky. Největší kontinent odbytu

v roce 2010 byla Evropa s podílem 41 %, následována Asií s 22 % a Severní Amerikou s 21%. Instalace v ostatních regionech byla v řádech procentních bodů [13].

Absolutní závislost na ceně vstupních surovin, hlavně ropných produktů, vyžaduje snížení nákladů i na vstupní materiály. Neustále stoupá poptávka po možnosti využití sekundárních materiálů z regenerulátů. Ty jsou levnější a při kontrolované produkci i trvale dostupné. Musí být ovšem dodržena kvalita a také deklarované dodávky množství. Z tohoto důvodu se plná recyklovatelnost zatím příliš neaplikuje. Zbytky od výroby trávníků se samozřejmě využívají v jiných závodech JUTY. Podnik garantuje co nejmenší negativní vliv výrobku na životní prostředí. Přesněji to vyjadřuje definice celého portfolia výroby, tedy je potřeba snížit odpady na minimum, a zvýšit tím přímou efektivitu produkce s nižšími náklady. Společnost aktuálně odebírá polymerní vstupní materiály od více společností, nejčastěji od chemického gigantu Dow Chemical.

Návrh nového výrobku spočívá především v inovaci zátěru. Výroba až do etapy povrstvení pryží zůstane zachována. Výrobní linka s horkovzdušnou komorou na vytvrzování pryže se využije při fixaci disperzí na bázi termoplastických polyuretanů, polyvinylacetátových či polyolefinů.

Pokud by technologie byla rozdílná, bude zapotřebí tuto část linky vyměnit za novou, např. ohřev infračerveným zářičem, ukotvování vlasu netkanou termoplastickou textilií či využití aplikace hot-melt lepidel atd. Jakákoliv změna technologie ovšem vyžaduje nákup speciální techniky, která je velmi finančně náročná. Výměna této části linky též přeruší výrobu na několik týdnů. Využitím stávajícího procesu výroby se ušetří nemalé finanční náklady.

Při ovinu multifilu PES kábílkem se počítá s nahrazením tohoto materiálu za vlákno z polyolefinu. Zjednoduší to recyklaci, jelikož nyní při regenerulaci použitých materiálů je kábílek z PES zachytáván na filtrech z důvodu nižší teploty tavení než mají PE a PP.

Při spojování pruhů trávníku by mohlo být nahrazeno reaktoplastické polyuretanové lepidlo termoplastickým, protože množství použité na spojení dílu je zanedbatelné v celkovém objemu materiálu. Vliv při recyklování a znovupoužití je tedy téměř minimální.

2.6.1 Podmínky pro výrobu nového produktu

Novinka, která bude dodávána na globální trh, musí splňovat normy a zákonné požadavky jednotlivých států. Ke komerčnímu úspěchu je zapotřebí aplikovat kvalitní marketingovou kampaň, která zaujme zákazníky a osvětlí výhody nového produktu. Plně recyklovaný trávník by v případně úspěšného startu prodeje mohl změnit fungování trhu. Zatím nikdo nevyrábí takový produkt.

Materiálové náklady na výrobu by tedy měly být srovnatelné s nynější cenovou hladinou a mírné navýšení ceny za vyšší užitnou hodnotu by tedy bylo tolerováno. Při změně výrobního portfolia musí být zajištěna garance dodávky, kvality i klientského servisu. Ekologická likvidace by měla být též již při prodeji vyřešena nabídkou dohody o zpětném odběru po ukončení životnosti.

Velkým přínosem pro tento výrobek by zajisté bylo prodloužení záruky. Ideálním příkladem by byl plně recyklovatelný trávník, jenž by garantoval životnost 15 - 20 let oproti stávajícím deseti. Dosažením takového výrobku by JUTA získala zajisté většího zájmu kupujících, přičemž cenové navýšení v řádu procent by bylo pro zákazníka přijatelné.



Obr. 17 Instalace okrasného trávníku na zahradě [17]

Nový plně recyklovatelný trávník bude položený na testovacím hřišti, kde si jej mohou zákazníci ověřit. Zde bude také sledováno chování nového zátěru. Travníky okrasné, obr. 17, budou vystaveny na zahradnických akcích typu Zahrada Čech v Litoměřicích

atd. Nový produkt musí mít též kvalitní marketingovou podporu v oblasti reklamy jak internetové, tak výstavní na sportovních akcích.

2.6.2 Nahrazení SBR zátěru

Problematika využití SBR pryže je popsána v kapitole výše (2.2.3). Nanesením kaučukové disperze se celý produkt znehodnocuje a je dále téměř nerecyklovatelný. Změnou materiálu pro ukotvení vlasu k podkladové tkanině by bylo možné trávník regranulovat a znovu použít, a tak by se razantně snížil negativní vliv na životní prostředí.

Běžné zátěry koberců, tedy technologicky podobných textilií, jsou nejčastěji pomocí polyvinylchloridu (PVC), PP, PVAc či právě využitím SBR pryže. Ve výrobě trávníku je PP nevhodný z důvodu degradace vlasu vlivem vyšší teploty tavení PP. Disperze PVAc bude v experimentální části testována a PVC zátěr není vhodný z důvodu obtížné recyklovatelnosti a obsahu chloru. Aplikace akrylátů vytvrzovaných UV zářením je pro nutnost použití toxických chemikálií na odbourání polymeru zamítnuta zadavatelem.

Využití ultrazvukového pojení tvorbou tavného sváru není finančně ani technologicky možné. Jednou z překážek je vysoká pořizovací cena ultrazvukových sonotrod, kterou by každý řádek potřeboval samostatnou včetně zdroje. Technologickou překážkou je přesný kontakt sonotrody s materiálem v místě tavení vlasu, kterého není prakticky možné docílit vzhledem k počtu stehů a šíři textile.

Úspěšným rozběhnutím výroby plně recyklovatelného trávníku se případný regranulát využije v mnoha jiných průmyslových odvětvích. Protože cena nového vstupního polymeru neustále roste, bude se poptávka po sekundárních materiálech zvyšovat. Již nyní je zájem o druhotný materiál z JUTY. Pokud by případně i kobercová výroba začala využívat stejný systém ukotvení vlasu, přibýlo by ještě více materiálu pro recyklaci. Zvýšením produkce regranulátu se zajistí snížení ceny sekundárních výrobků.

Možné aplikace regranulátu z trávníků a koberců:

- polymerní protihlukové dálniční stěny
- umělé povrchy cest a chodníků
- sloupy a sloupky k zahradnímu vybavení
- velkoplošné desky a reklamní plochy
- výplně stavebních prostor
- izolační desky a vlákna
- těsnění bytových podlah a povrchů

2.6.2.1 Využitím termoplastických vlastností trávniku a tavenin

Možnost ukotvení přináší samotný materiál, z něhož jsou samotná vlákna. Protože je PE-LLD termoplast, nabízí se ohřev a následné přichycení vlasu k podkladové tkanině natavením. Metody ohřevu jsou kontaktním ohřevem, dále využitím infračerveného záření (IČ) s vlnovou délkou 760 nm - 1 mm a ohřevem horkým vzduchem.

Takové ukotvení je známé z fixace netkaných textilií pro hygienické potřeby apod., kdy je rubová strana textilie kompletně natavena. Možnost natavení vložené PE netkané textilie do prostoru mezi vlasy a nosnou tkaninou je součástí experimentální části. Jelikož vlákna jsou PE-LLD, není natavení komplikované. Průměr vláken netkané textilie je několikrát menší, tudíž teplo potřebné k natavení takového vlákna je nižší a doba k dosažení bodu tání je též kratší [10]. Při ohřevu dojde k natavení netkané textilie, ovšem vlasy trávniku nesmějí být teplem degradovány.

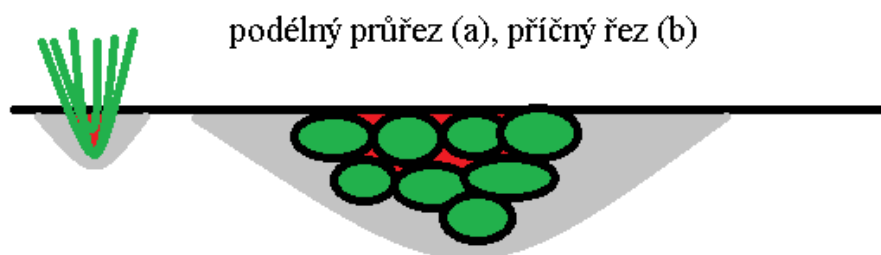
Společnost JUTA měla nabídku od externí dodavatelské společnosti na termoplastický kopolymer na bázi EVA. Tento polymer je vyráběn pro běžné použití v produkci syntetických trávníků, ovšem nevýhodou je vyšší pořizovací cena výrobní linky pro aplikaci. Vyráběn je chemickou společností Clariant, pod značkou Licocene. Tento polymer vyvinutý speciálně pro trávniky má již vyřešený problém s ukotvením všech vláken vlasu. Jeho vlastnosti, porovnání a použití jsou popsány v článku [9]. Zátěr hot-melt lepidlem je také v rámci DP realizován.

Natavení polymerní fólie vyrobené přímo z PE-LLD na rubovou stranu je vhodné z důvodu použití stejných materiálů. Očekává se vysoká adheze s vlasem, a proto pevné ukotvení. Aplikace IČ záření na fólii zajistí homogenní prohřátí s přesnou regulací dodaného tepla.

Aplikací taveniny nízkoviskózního PE, která je určená pro melt-blown technologii výroby NT, se očekává kompletní zaplnění všech mezivláknových prostor. Zatření by bylo možné modifikovat v nástřik taveniny s následným přítlačným válcováním. Testování takové taveniny s vysokým indexem toku taveniny (MFI), které je znakem nízké viskozity, bude podroben vzorek trávníku s páskovými vlasy i multifily. Hodnota viskozity klesá se vzrůstající teplotou taveniny. Vliv mechanického tření, případně míchání, má vliv též na nižší viskozitu, taveniny se chovají tedy jako nenewtonské kapaliny.

2.6.2.2 Využití disperzí a pěn

Styren - butadienový kopolymer je vodná disperze, jednou z variant náhrady tohoto materiálu je též disperze, ovšem termoplastická. Částičky v disperzi mají malé rozměry, tudíž proniknou do všech mezivláknových prostor, čímž se eliminuje problém ukotvení všech vlasů trávníku, viz obr. 18.



Obr. 18 Grafické znázornění ukotvení vlasu - podélný a příčný řez trávníkovým vlasem; šedá znázorňuje polymer, vlákna jsou zelenou a červená je neukotvený meziprostor

Vodné disperze mají viskozitu závislou na obsahu pevného podílu. Velmi ředěné disperze mají při teplotě 18 °C dynamickou viskozitu v rozmezí 1 - 4 Pa.s, tedy mírně vyšší než voda. Použitelná viskozita disperze je maximálně do hodnot 80 Pa.s.

Velmi zajímavou technologií je ukotvení pomocí disperzní pěny, kdy se do disperze přimíchává kyselina uhličitá, která se při zahřátí mění na oxid uhličitý a vodu. Tento efekt se využívá při výrobě membrán, kdy CO₂ unikající do ovzduší tvoří kanálky pro následnou filtraci či bariéru. Aktuálně se ve výrobě využívá napěnění disperze ve velkokapacitním mixéru vzduchem. Ztuhlá pěna má elastičtější vlastnosti, nižší viskozitu a je po vytvrnutí měkčí, což u trávníku pozitivně ovlivňuje došlap uživatele.

2.6.3 Stručné shrnutí návrhů ukotvení vlasu trávníku

- přichycení vlasu k podkladové tkanině natavením
 - kontaktním ohřevem
 - využitím infračerveného záření
 - ohřevem horkým vzduchem
- povrstvení rubové strany netkanou textilií s následným natavením
 - zatavením PE netkanou textilií
 - možností využití netkané textilie jako „sendviče“ resp. kompozitu
- fixace vlasu hot-melt lepidlem
 - využitím tavného lepidla
- laminace rubové strany PE fólií
- nanesení polymerní taveniny
 - zatřením nebo postříkem PE-LD taveninou
- využití vodných disperzí
 - polyvinylacetátových
 - polyuretanových
 - polyetylenových
 - zpěněných disperzí

2.7 Shrnutí teoretické části DP a předpoklady experimentální části

Cílem provedené rešerše bylo seznámit se s aktuální výrobou umělého trávnicku, materiálovým složením a objasnit možnosti inovace nového tavitelného zátěru rubové strany.

Na základě toho byly navrženy následující postupy řešení experimentální části DP:

- vyrobit vzorky k testování
- ověřit deklarované propozice trávnicku
- testovat nové možnosti ukotvení vlasu trávnicku
- charakterizovat plně recyklovatelné vzorky
- vyhodnotit vlastnosti umělého trávnicku a testovat ukotvení vlasu dle norem FIFA
- navrhnout změny výrobní linky
- zvolit optimální parametry výrobního procesu pro kontinuální výrobu v závodě JUTA 15., Dvůr Králové nad Labem
- rozvážit ekonomické dopady na výrobu

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části diplomové práce bylo nalézt a aplikovat vhodný materiál pro ukotvení vlasu umělého trávnicku k podkladové tkanině při nahrazení SBR pryže. K ukotvení polyetylenových vláken bylo zvoleno více metod, které jsou v závěru práce porovnávány a vyhodnoceny z hlediska aplikovatelnosti, pevnosti ukotvení vlasu a finanční náročnosti na změnu technologie výroby i materiálů.

V průběhu řešení byly od zadavatele získány dodatečné informace a požadavky, které ovlivnily výsledný postup řešení. Postupnou eliminací méně vhodných možností se výsledné řešení přiblížilo ke komerční výrobě. Svými novými parametry se produkce umělého trávnicku stává šetrnější k přírodě.

3.1 Popis použitých materiálů pro výrobu vzorků

Pro testování jiného ukotvení vlasu trávníku byly získány od zástupce JUTY varianty produkčních vzorků bez aplikovaného SBR zátěru. Dále byly získány vzorky hot-melt lepidla, PE fólie, polymerních disperzí atd. Použité technologie byly aplikovány na vzorky v laboratořích katedry netkaných textilií po odborné instruktáži zaměstnanci TUL.

3.1.1 Vzorky trávníku

K testování byly vzorky fotbalového multifilu *Power Ball 60* a páskového *Fast Track 18* určeného pro rychlé sportovní povrchy. Výseky trávníky měly rozměry 0,2 x 0,2 metru. Byly také získány vzorky zatřeného trávníku SBR pryží pro porovnávání mechanických vlastností s novým typem ukotvení.

Nejprve byly otestovány parametry dané výrobcem, které jsou pro každý model specifické. Hustota stehů, plošná hmotnost, jemnost vláken byla ověřena v souladu s technickým listem již ve společnosti JUTA během studijní praxe. Bod tání vlasu, PP tkaniny a netkané textilie ověřilo tavení na zařízení pro zjišťování bodu tání. Teplota měknutí u vlasu byla 109 °C, tavení začalo na 122 °C. U polypropylenové netkané textilie teplota dosahovala vyšších hodnot, přesněji měknutí při 153 °C a bod tání 162 °C. Teplotně nejodolnější byla PP tkanina, kde bod tání dosahoval vyšších teplot, měknutí 157 °C a tavení až při 169 °C. Termickou podmínku pro aplikaci tavenin a tavných lepidel z důvodu měknutí PE-LLD vlasu byla 120 °C. Při teplotě přesahují tento limit, docházelo k změně morfologie molekuly dlouženého vlasu. Změna se projevovala srážlivostí vlákna v podélném směru a tím negativnímu ovlivnění celého produktu.

Tavení vzorku pryžového zátěru nebylo dosaženo, protože SBR i přes dodané teplo nevykazovalo tavení a tím byla ověřena nerecyklovatelnost tohoto materiálu. Při ohřívání navíc docházelo k uvolňování specifického zápachu, jenž byl velmi intenzivní až dráždivý. Vlas z PE v tento moment byl již kompletně roztavený a začala zde celková degradace vlivem vysokých teplot.

3.1.2 Netkaná textilie

K testování zatavení vláken k podkladové tkanině byl získán vzorek netkané textilie (NT) PETEX. Tato textilie se vyrábí v závodě JUTA Úpice vytlačováním PE-LD z trysek na pohyblivé síto. Využití této NT je v oděvní výrobě, kde se vrstvy vkládají do uzavřených částí oblečení. Následným zažehlením vytváří zpevněné plochy, např. límce, rukávy či štítky čepic.

3.1.3 Tavné lepidlo

Dalším materiál pro testování byl polyvinylacetát (EVA). Tento kopolymer se používá například v polymerních tavených hot-melt lepidlech pro výrobu dekorací, spojování materiálů, keramiky, dřeva, plastů, textilií apod. Vyrábí se radikálovou nebo blokovou polymerací v amorfním uspořádání. Ohřevem v tavné pistolí na teplotu 105 °C dochází k měknutí EVA tyčky. Při 122 °C je polymer již homogenně taven. Termoplast z polyamidu nebyl zkoušen, protože má teplotu měknutí až nad 170 °C, a to z důvodu ochrany vláken.

3.1.4 PE-LLD fólie

Fólie z PE-LLD je stejného chemického složení jako samotná vlákna a vyrábí se v podniku JUTA Dvůr Králové nad Labem. Z této fólie se následně na řezacím válci nařezávají pásy, které po texturaci tvoří samotný vlas trávníku. Fólie byla získána ještě nerozřezána a laminována na rub, více v kapitole 3.3.4.

3.1.5 Tavenina polyethylenu

Další zkoumanou oblastí byla možnost využití PE, který je primárně využíván pro technologii výroby netkaných textilií metodou melt-blown, u takového polymeru se očekává viskozita taveniny velmi nízká, tedy MFI je zde značně vysoké. Hodnota toku může dosáhnout až několik stovek gramů za 300 sekund při 190 °C [10]. Pro zkoumání

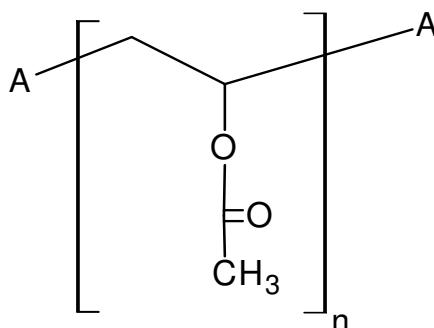
byl vybrán PE, jež využívá textilní fakulta k provozu melt-blown poloprovozní linky. Výrobce je Dow Chemical. Teplota tavení tohoto polyetyleny je cca 120 °C. Pro melt-blown technologie je teplota taveniny u trysky až 300 °C, ovšem díky nepřítomnosti vzduchu v extrudéru nedochází k oxidaci polymeru.

3.1.6 Vodné disperze

Vzhledem k malým rozměrům částic v disperzi je předpokládáno kompletní zatečení do všech prostor mezi vlasy, tkaninou i trávnickovými vlasy.

3.1.6.1 Polyvinylacetátová disperze

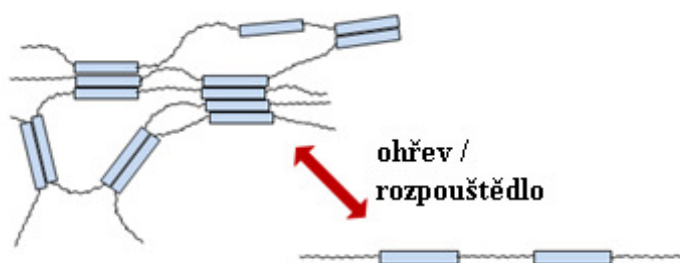
Polyvinylacetátové (PVAc) disperze jsou běžným lepidlem pro domácí užití včetně podlepování koberců. Použitá polymerní disperze, přesněji Duvilax BD 20, která byla naředěna na koncentraci sušiny 55 % s viskozitou 7 Pa.s při 23 °C. Druhý testovaný vzorek disperze byl naředěn na 27,5 % hm. Výroba je výhradně radikálovou polymerizací monomeru vinylacetátu, viz obr. 19. Využití se nachází v impregnaci stanů a na rubové straně koberců. V alkalickém prostředí za působení louhu (NaOH) dochází k vzniku polyvinylalkoholu (PVA). Při rozpouštění a degradaci vzniká kyselina octová [6]. Nerozpouští se ve vodě, ale v aromatických uhlovodících.



Obr. 19 Schéma PVAc, kde písmeno A znázorňuje opakování monomerů vinylacetátu a n polymerní číslo

3.1.6.2 Polyuretanové disperze

Vzorky polyuretanových disperzí byly získány v laboratoři katedry netkaných textilií TUL. Testovaly se dva typy, přesněji Sancure 825 o koncentraci 34 % a termoplastický (TPU) Sancure 20025F o koncentraci 48 %. Nejprve byla ověřena termoplasticita TPU tavením vzorku průhledného filmu. Teplota tavení u tohoto polymeru je 165 °C, bod měknutí začíná na 145 °C. Veškeré polyuretany jsou velmi náchylné na vliv vody a vlhkosti.



Obr. 20 Změna morfologie řetězců při ohřevu (nahore), samotný řetězec TPU v rozpouštědle (dole vpravo) [20]

V polymeru dochází ke střídání částí termoplastických (modré obdélníky) a reaktoplastových (vlnky), což je zobrazeno na obr. 20. Při tavení se shlukují tavitelné části, a proto vzniká termoplasticita celého produktu, jelikož jsou několikanásobně častěji zastoupeny. TPU jsou dnes využívány například jako surovina pro výrobu kolečkových bruslí, ohebných klávesnic či speciálních balících pásek, fólií apod. [23].

3.1.6.3 Polyetylenové disperze

Získané vzorky vodných disperzí byly od společností SurTec (SurTec 520, 521 a 522), LEAR a.s. (PE disperze) a Dow Chemical (HYPOD).

Koncentrace SurTec produktů byla dána výrobcem, a to přesněji SurTec 520 při obsahu sušiny 25 %, SurTec 521 při koncentraci 25 % a SurTec 522, který obsahuje na zvýšení mechanické odolnosti nanočástice oxidu křemičitého (SiO_2) koncentrovaného na 40 % hm. Produkty 520 a 521 se liší pouze součinitelem tření vzniklé vrstvy. Testované disperze se uchovávají v jednolitrových plastových lahvích. Běžné aplikace pro tyto disperze jsou nátěry materiálu. Vytvořený film působí jako ochranná vrstva. Finančně je tato disperze náročnější než SBR.

Polyetylenová disperze od společnosti LEAR a.s. byla koncentrovaná 68 %. Aplikace je podobná jako u produktů SurTec. Tato disperze byla připravená pouze pro testování ukotvení vlasu trávníku zástupcem společnosti LEAR a.s. z Brna.

Společnost Dow Chemical, která byla též oslovena, dodala pro testování PE disperzi HYPOD. Primární určení využití této disperze je fixace netkaných textilií. Protože Dow Chemical je dodavatel PE-LLD pro výrobu vláken vlasu trávníku, bylo očekáváním pozitivní ukotvení vlasu. Disperze obsahovala 57 % hm. sušiny, což je pro jednoduchou představu 570 g PE, 430 g vody a aditiv na kilogram disperze.

3.2 Použité metody testování

Základní testování proběhlo již za praxe v závodě JUTA, testování aplikovaných materiálů a technik bylo zkoumáno v laboratoři TUL. Opakováním byla získána data pro vyšetření průměrných pevností, směrodatných odchylek, mediánu a dalších statistických hodnot.

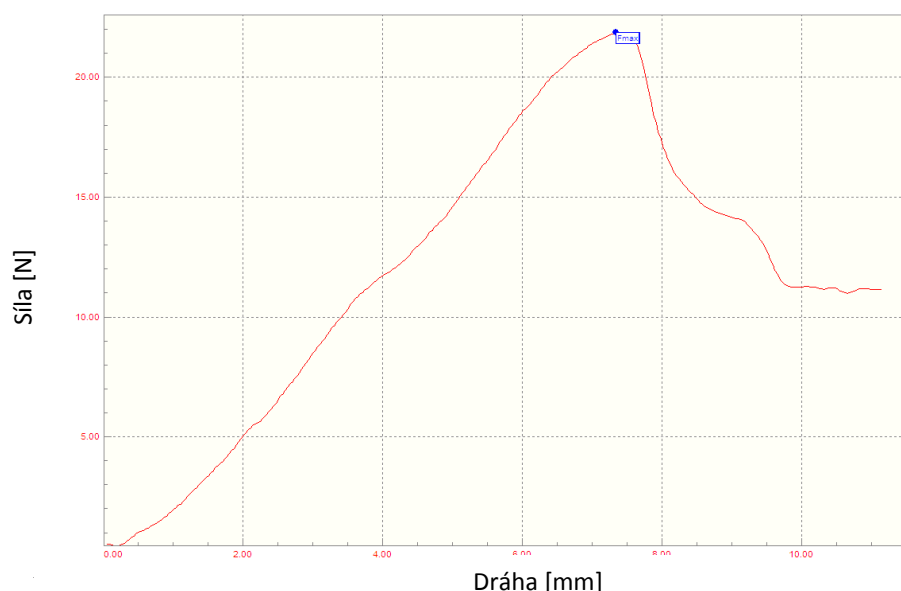
3.2.1 Zkouška tepelná odolnosti

U všech vzorků bylo nejprve sledováno chování filmu v mrazu. Nastavená teplota byla na hodnotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 15 minut. Pro testování opačných extrémů byly vzorky podrobeny teplému vzduchu v horkovzdušné komoře. Teplota nastavená pro tento test byla $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu 1 hodiny. Chování vzorků, vliv změn teplot na rubové zátěr, taveninu či hot-melt lepidlo bylo zaznamenáno. O testovacích metodách je více popsáno v kapitole 2.5.

3.2.2 Zkouška pevnosti ukotvení vlasu

Testování pevnosti ukotvení bylo primárním testem celého výzkumu. Po absolvování testů změn roztažnosti a vlivu změn teplot na ukotvení vlasu byl vzorek podroben testu pevnosti ukotvení.

Do čelistí peánu byl zachycen náhodný jednotlivý vlasový výstup pásky či multifilu. Celý vzorek trávníku byl pevně přichycen k podkladu a peán s trávníkovým vlasem byl trhacím zařízením napínán až do vyjmutí či přetržení. Síla (F), potřebná k vytržení vláken z pokladové tkaniny, byla zobrazena na digitálním monochromatickém displeji. Průběh trhací zkoušky je zobrazen na obr. 21.



Obr. 21 Detailní grafický průběh trhací zkoušky, modře označena hodnota vyjmutí vlákna ($F=20,4\text{ N}$) a následuje pokles napětí

Zkouška se opakovala vždy desetkrát. Výsledky byly statisticky zpracovány v počítačovém programu MATLAB 2007b. Průběh

3.3 Výroba vzorků a výsledky testování jednotlivých návrhů

V kapitole 3.1 jsou popsány materiály, které byly zvoleny pro testování nového ukotvení vlasu trávníku. V první fázi se jedná o využití termoplasticity materiálu, dále kotvení pomocí přidané NT, laminování fólií či hot-melt lepidla. Závěrečný postup je nahrazení SBR termoplastickou disperzí.

3.3.1 Využití termoplastického chování samotného trávníku

Protože je celý trávník z podobných materiálů, jak je popsáno v kapitole 2.2, bylo prvním pokusem o ukotvení smyčky vlasu využití termoplasticity PE-LLD. Předpoklad byl, že při natavení povrchu vlasu dojde uchycení vlasu k podkladové textilií a sousednímu vlasovému výstupu. Tento způsob by byl nejméně finančně náročný na materiál. Ohřevem rubové strany na teplotu měknutí vlasu a následným mechanickým přtlakem dojde k sváru sousedních vlasů a také natavení k nosné textilií.

Na ohřev rubové strany byly použity tři technologie:

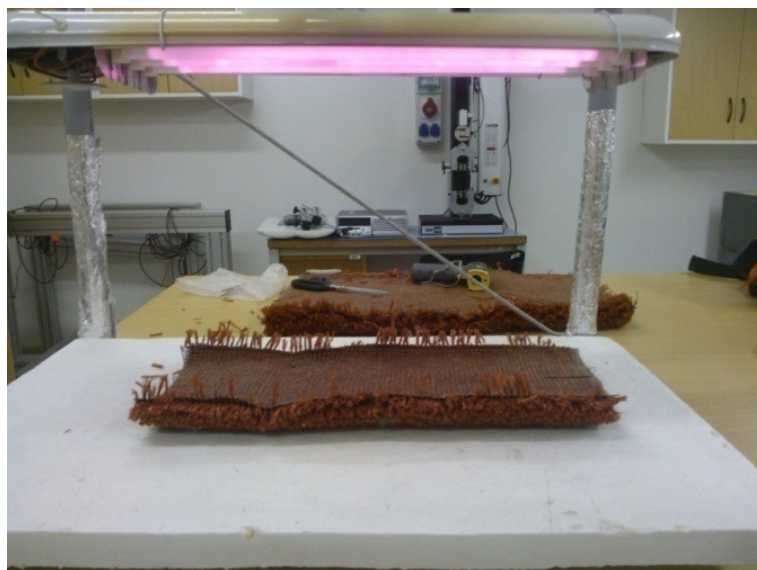
- kontaktní ohřev
- infračervené záření
- horký vzduch

Rozmezí teplot při kontaktním ohřevu bylo volené v mezi 90 – 130 °C.

Teplota testovaného povrchu materiálu v rozmezí 90 - 154 °C u IČ byla dosažena vhodnou vzdáleností zdroje od textilie, jak je zachyceno na obr. 22.

Požadovaná teplota na povrchu textilie při ohřevu horkým vzduchem byla měřena bezdrátovým IČ teploměrem. Teplota se pohybovala v rozmezí 80 – 180 °C.

Po prohřátí rubové strany byl vytvořen přtlak válcem, který roztavený polymer (PE-LLD) do tkaniny vtlačoval.



Obr. 22 Ohřev rubové strany trávnicku IČ zářičem o příkonu 2000 W

Chlazení probíhalo: a) za laboratorní teploty, b) ponořením do vody o teplotě 12 °C, c) v horkovzdušné komoře pozvolným chladnutím z teploty 105 °C na 60 °C. Výsledky jsou zaznamenány v tab. 2. Nejlepších výsledků dosahoval vzorek č. 4, kdy IČ ohřev homogenizoval tavení PE-LLD vlasu. Pevnost byla průměrně 19,3 N.

Vzorek	Typ vlasu	Metoda ohřevu	Vlastnosti ukotvení
1	Páska	Kontaktně	nízká pevnost 17,3 N; ukotvení celé pásky pouze přes svrchní část; po vychladnutí praskalo
2	Multifil		špatné, pouze plošné s malou pevností; ukotvení pouze jednotlivých monofilů, ne celého multifilu
3	Páska	IČ zářičem	tavitelnost lepší; pevnosti ukotvení nízká; nižší deformace po vychladnutí
4	Multifil		multifil lépe ukotven jako celek (průměrně $F=19,3$ N); jednotlivá vlákna natavena i ze strany stehu; vnitřní vlákna bez ukotvení
5	Páska	Horkým vzduchem	nejvyšší výrobní rychlost; pevnost srovnatelná s IČ; nejnižší deformace vláken z lící strany
6	Multifil		natavena vlákna pouze z vrchní strany; pevnost nedostatečná; nutná rotace média

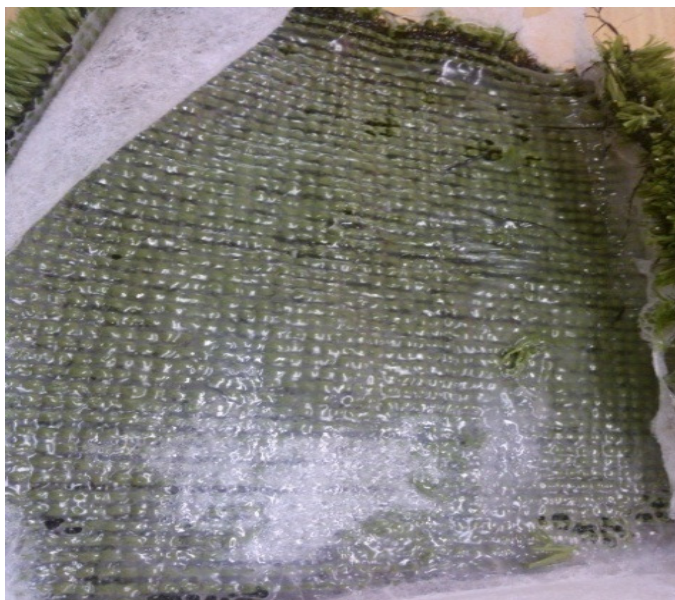
Tab. 2 Výsledky ukotvení natavením samotných trávnickových vlasů, nejlepší výsledky vykazoval ohřev IČ zářičem

Dosažené výsledky těchto technik neodpovídaly požadavkům daných zadáním DP. Při testování pevnosti ukotvení vlasu pomocí trhačího stroje docházelo k uvolňování vláken z PP tkaniny snadno, protože natavení sousedních multifilů nebo pásek nebylo dostatečné.

Pokud hodnoty pevnosti dosahovaly 30 N, které vyžaduje norma, naopak praskaly a bylo viditelné poškození vlákna. Natavení PE-LLD vlasu tedy není vhodné.

3.3.2 Povrstvení rubové strany netkanou textilií

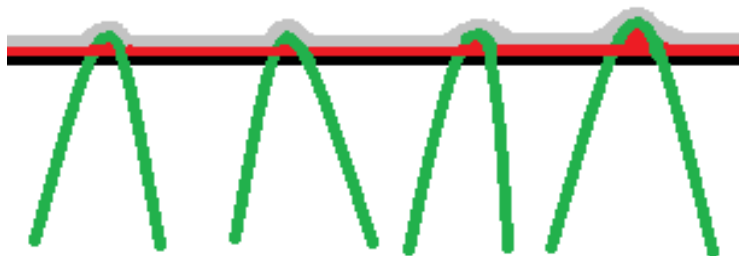
Ukotvení vlasu NT PETEX, která je více samostatně popsána v kapitole 3.1.2, je z hlediska ochrany vlasu, homogenitě vrstvení či mechanických vlastností vynikající. Bod tání byl vhodný, tedy měknutí textilie začalo již na 90 °C a tavení při 104 °C. Různých plošných hmotností bylo dosaženo volbou počtu vrstev, kdy jedna vrstva dosahuje hmotnosti 70 g.m⁻². Ovšem nastal zde problém, popsáný dříve v kapitole 2.6.3.2, kdy natavený PE nezatekl do všech mezivláknenných prostor ani při zvýšeném přítlaku. Vzorek s natavenou NT PETEX je zobrazen na obr. 23.



Obr. 23 Rubová strana povrstvená NT PETEX (bílá textilie), technologie ohřevu horkým vzduchem s plošnou hmotností 140 g.m⁻²

Fibrilovanou pásku NT PETEX ukotvil nedostatečně, u multifilu bylo docíleno zpevnění pouze svrchních vláken. Meziprostor nebyl polymerem zaplněn. Rozmezí plošných hmotností laminované textilie bylo zvoleno dosaženo vrstvením NT PETEX, tedy 70 – 350 g.m⁻².

Během konzultací se zástupci JUTY byl navržen a vyroben vzorek trávníku, kdy netkaná textilie z PP nahradila vrstvami NT PETEX. Následně byla prošita. Pro testování byla zvolena plošná hmotnost vrstev NT PETEX 140 g.m⁻². Očekávalo se zvýšení pevnosti ukotvení. Byl vytvořen sendvičový (kompozitní) model, zobrazený na obr 24.



Obr. 24 Grafické znázornění inovace vrstev textilie v trávníku, zelené jsou vlákna, černá je nosná PP tkanina, červenou prošitá a šedou barvou krycí vrstva NT PETEX

Vzorek	Typ vlasu	Metoda ohřevu	Vlastnosti ukotvení
7	Páska	Kontaktně	vrstvy PETEX nataveny již při 104 °C; krytí homogenní s pevností průměrně v rozmezí 7,8 – 14,3 N
8	Multifil		NT PETEX překryl pouze vlákna při povrchu; ukotvení nedostatečné
9	Páska	IČ zářičem	tavení PETEX dokonalé; tavenina dosáhla celého povrchu; ukotvení vnitřních prostor je nedostatečné
10	Multifil		tavení dokonalé a celoplošně homogenní; zatečení do prostor mezi vlákny pouze bodově; ukotvení doposud nejpevnější (průměrně F=13,1 N)
11	Páska	Horkým vzduchem	rychlost a kvalita tavení vysoká; při 70 - 210 g.m ⁻² , ukotvení nedostatečné
12	Multifil		vrstvení 70 - 350 g.m ⁻² ; výborný průchod tepla až k vláknům; meziprostory zaplněny pouze při povrchu; pevnost nedostatečná

Tab. 3 Výsledky metody za využití netkané textilie PETEX

Během vsívání vlasu docházelo k praskání NT PETEX. Vrstva tedy nebyla plně homogenní. Aplikací dříve popsaných metod ohřevu (kontaktně, IČ a vzduchem) došlo k roztavení NT pod i nad prošitím při zachování rozměrových vlastností PE-LLD vlasu.

Multifily a pásy takto ukotvené nebyly pevnější než natavení samostatných vlasů i přesto, že byly kompletně obaleny NT. Adheze NT PETEX tedy není dostatečná pro tuto aplikaci. V případně vrstvení „sendvič“ vykazovaly nejlepší výsledky vzorky č. 7 a 10, kdy tavení mělo pozitivní vliv na zatečení taveniny NT PETEX do téměř všech prostor. Pouhé laminování NT PETEX mělo horší výsledky a nedocházelo k uchycení celého vlákenného multifilu.

3.3.3 Aplikace tavného lepidla

V tavné pistoli se připravila tavenina polymeru EVA o teplotě 122 °C a nanášela se na rubovou stranu vlasu nánosem. Během několika minut došlo k vychladnutí lepidla. Hodnota pevnosti ukotvení rubové strany multifilu bylo dostatečné, a to průměrně 40,2 N. Ukotvení pásy byly diametrálně odlišné. Pevnost dosahovala maximálně hodnot $F=26,1$ N, průměrně $F=21,7$ N.

Etylvinylacetát je jednou z možností ukotvení vlasu, ovšem po provedení experimentu bylo získána informace, že EVA byla již pro JUTU testována. Nevýhody tohoto polymeru spočívají ve vyšší finanční náročnosti vstupního polymeru a optimálního vyplnění mezivlákných prostor. Také polymer při teplotě bodem bod mrazu křehne a je málo elastický.

Vzorek	Typ vlasu	Ukotvení	Vlastnosti ukotvení
13	Páska	EVA hot-melt lepidlo	páska v tkanině držela; průměrná pevnost 21,7 N; objevilo se zvýšené praskání pásek z důvodu vyššího bodu tavení EVA - změny makromolekulární morfologie vlákna
14	Multifil		ukotvení multifilu dostatečné; pevnost dosahovala přes 40 N; vrstva z EVA byla křehká a málo elastická; z důvodu praskání samotného hot-meltu není toto řešení vhodné

Tab. 4 Výsledky nánosu hot-melt lepidla (EVA)

Vlákna povrstvená EVA kopolymerem vykazovala také vyšší křehkost, pravděpodobně docházelo k degradaci struktury PE-LLD vlivem působení taveniny. Při testu zamražením, kdy byl trávník v mrazící komoře při - 18 °C, docházelo k praskání i samotného EVA kopolymeru, jak je vidět v tab. 4.

Pevnost ukotvení vzorku č. 14 byla velmi překvapující a dosahovala vysokých hodnot i přes 40 N. Ukotvení pásky nedosahovalo podobných hodnot.

3.3.4 Zažehlování PE-LLD fólie

Čtvrtým návrhem ukotvení trávnickového vlasu bylo využití PE fólie. Kombinací s PETEX netkanou textilií vznikl opět sendvič, kde svrchní vrstvu tvořila PE-LLD. Materiál, z kterého byla fólie, byl stejný jako pro výrobu texturovaných pásek. Aplikace fólie probíhala kontaktním ohřevem.

Vzorek	Typ vlasu	Ukotvení	Vlastnosti ukotvení
15	Páska	PE fólie	fólie se výborně natavila na pásku; nedosažení ukotvení vnitřních vláken i přes zvýšený přítlak a předežhřátí rubu
16	Multifil		natavení horší než u pásky; celkově nedostatečné

Tab. 5 Výsledky kontaktní laminace fólií; ukotvení nedostatečné

Využitím stejných materiálů při stejné teplotě měknutí se fólie natavila, ale nepronikla do prostor mezi vlákny. Výsledek byl stejný jako u netkané textilie PETEX, ovšem pevnost byla vyšší z důvodu stejného materiálového složení.

3.3.5 Ukotvení nízkoviskózní PE taveninou

Tavenina byla čirá a maximální teplota dosahovala 126 °C pro ochranu a stabilitu trávnickového vlasu. Tekutost nebyla dostatečná. Při nánosu na rubovou

stranu trávniku ihned chladla a nezatekla do prostor mezi vlákny. Vyšší teploty nad 130 °C deformovaly a degradovaly vlas. Tato metoda není vhodná pro tuto aplikaci.

3.3.6 Využití disperzí

Z předešlých výsledků, které byly konzultovány v JUTĚ s výrobním ředitelem, bylo dohodnuto zaměřit se na změnu disperze. Výhodou je komplexní zatečení do prostor mezi vlákny. Vždy se daná disperze nanášela na vzorek trávniku v objemu takovém, aby množství sušiny na vzorku po koagulaci dosahovalo rozmezí 100 – 300 g dle parametrů testování. Odmačk fuláru byl minimální, protože přebytečná kapalina zatekla do útrob trávniku. Teplota sušení byla nastavena v horkovzdušné komoře na 24 °C / 24 hod, 60 °C / 1 hod a 105°C / 15 min. Průchodem textile za přítlaku fuláru (obr. 25) a stejnoměrného dávkování se dosáhlo homogenní vrstvy.



Obr. 25 Elektrický fulár, který svým přítlakem homogenizoval disperze do celé plochy vzorku

K testování bylo postupně získáno množství disperzí, které byly typu polyvinylacetátové, polyuretanové a polyetylenové. Více o materiálech v kapitolech 3.1.6. - 3.1.8. V tabulkách jsou vždy zaneseny výsledky nejlepších testovaných vzorků.

3.3.6.1 Polyvinylacetátová disperze

Nanesení disperze Duvilax BD 20 bylo velmi snadné a vytvořila se homogenní vrstva. Protože byl Duvilax velmi hustý, byla provedena zkouška se sníženou koncentrací naředěním vodou na $\frac{1}{2}$ původní koncentrace, tedy 27,5 %. Naředění proběhlo za stálého míchání. Výsledná disperze vykazovala vysoký tok. Vhodnější pro aplikaci je tedy vyšší 55 % koncentrace, jelikož poloviční koncentrace protékala samotným vzorkem z rubové strany do lící, čímž znehodnocovala uživatelskou stranu.

Vzorek	Typ vlasu	Disperze, koncentrace	Množství sušiny [g.m ⁻²], vlastnosti ukotvení
17	Páska	Duvilax 55 %	165 g; ukotvení nedostatečné; výsledný film byl velmi měkký; průměrně F=17,4 N
18	Multifil		165 g; jednotlivé monofily nebyly řádně přilepeny; docházelo k snadnému vyjmutí; nedostatečné
19	Páska	Duvilax 27,5 %	90 g; pevnost nedostatečná; trávnickový vlas nebyl ukotven dostatečně; elastičtější než při dvojnásobné koncentraci; část protekla vzorkem
20	Multifil		90 g; jednotlivé monofily se lehce oddělily od vlasu; ukotvení nedostatečné; měkké

Tab. 6 Výsledky pevnosti ukotvení Duvilax BD 20 disperze s různými koncentracemi

Disperze PVAc dosahovala maximálních hodnot pevnosti ukotvení pásy 23,4 N při obsahu sušiny 165 g.m⁻², tedy vzorek č. 17. Ukotvení páskového vlasu bylo lepší než ukotvení multifilu. Koncentrace 27,5 % hm. je nevhodná – protekla skrz textilií a nebyla u ní naměřena vyšší pevnost.

3.3.6.2 Polyuretanové disperze

Nános obou disperzí byl aplikován na připravený vzorek trávnicku o rozměrech 0,2 x 0,2 metru. Plošná hmotnost nánosu byla 400 g.m⁻², tedy 16 g disperze. Homogenita se opět zajistila průchodem textilie skrz fulár. Sancure 20025F vykazoval vyšší viskozitou a žlutá barva byla sytější než u druhého PU vzorku, jenž měl pouze žlutý nádech. Sušení doprovázel nepříjemný odér.

Vzorek	Typ vlasu	Disperze, koncentrace	Množství sušiny [g.m ⁻²], vlastnosti ukotvení
21	Páska	PU 825 33 %	85 g; disperze vyplnila prostor mezi vlákny pásky, neukotvila vlákna dostatečně; disperze protékala vzorkem
22	Multifil		85 g; disperze dosáhla všech vláken; pevnost nízká; homogenní nános
23	Páska	TPU 20025F 48 %	144 g; pevnost nedostatečná pouze 13, 17 N; homogenní zátěr;
24	Multifil		144 g; multifily byly kompletně ukotvené; žádné prosakování skrz nosnou tkaninu; vytvoření krycího filmu přes vlákenné očko; pevnost ukotvení byla průměrně 30,51 N

Tab. 7 Výsledky pevnost ukotvení multifilu

Pevnost ukotvení PU 825 nebyla dostatečná u žádného vzorku.

Polymer TPU 20025F dosahoval lepších výsledků. Výsledná pevnost ukotvené trávnickového vlasu byla vynikající a doposud měla tato metoda nejlepší výsledky z hlediska průmyslového využití, viz vzorek č. 24. Bylo zde naměřeno jedno vybočující měření, které je rozpoznatelné v krabicovém grafu, viz příloha. U pásky byla pevnost výrazně nižší.

Cena tohoto TPU je ovšem vyšší než je požadavek zadavatele. Ani napěněním není možno snížit cenu na únosnou hodnotu. I přes úspěšnou aplikaci bylo od zástupců JUTY požádáno o hledání polymeru bližšího k polyolefinům.

3.3.6.3 Polyetylenové disperze

Výsledkem usilovného vyjednávání s výrobcí a dodavateli chemických produktů bylo získáno pět vzorků PE disperzí. Tyto polyolefinové disperze mají uplatnění v ochranných nátěrech kovů, textilu, betonu apod. Očekávalo se kompletní zatečení do prostoru mezi vlákny, ukotvení vláken i následná plnohodnotná recyklace tavením.

Test tavení polymerního filmu ověřil u všech pěti termoplastické chování. Disperze byla aplikována zatřením ($600 - 200 \text{ g.m}^{-2}$) stěrkou a následným průchodem textilie fulárem. Rozměry byly 0,2 x 0,2 metru. Hmotnost disperze tedy dosahovala 4 - 24 g. Fixace probíhala opět v horkovzdušné komoře při 60 °C a 105°C.

Pouze u disperze HYPOD byla dosažena dostatečná elasticita, ostatní PE disperze byly velmi křehké a při ohybu praskaly.

Testování se tedy zaměřilo na ideální množství disperze HYPOD, ukázka zatření na obr. 26. Koncentrace byla 57 % namíchána přímo od výrobce. Množstvím naneseného materiálu na rubovou stranu se upravoval požadovaný obsah sušiny.

Vzorek	Typ vlasu	Sušina [g.m ⁻²]	Vlastnosti ukotvení
25	Páska	280	disperze zaplnila celý povrch homogenně; pevnost pásky průměrně 19,45 N; přebytky disperzního materiálu
26	Multifil		ukotvení všech prostor mezi vlákny; pevnost nedostačující; přebytky disperze
27	Páska	228	disperze homogenně rozetřena fulárem do všech míst pásky; průměrně F=19,53 N
28	Multifil		pevnost ukotvení multifilu na hodnotě průměrných 23,78 N; materiál i přes homogenitu a celkové zaplnění vrstvy přebýval a prosakoval do útrob trávníku
29	Páska	171	nehomogenní zátěr; i přesto páska ukotvena; pevnost nízká; F=11,93 N
30	Multifil		zátěr většiny multifilů; pevnost výjimečně nad 30 N
31	Páska	114	nehomogenní polymerní film; místy bez zátěru; neukotveno
32	Multifil		nehomogenní polymerní film; nezaplnění všech mezivláknenných prostorů

Tab. 8 Výsledky PE disperze HYPOD, hmotnost sušiny 114 – 280 g.m⁻²

Disperze po fixaci koagulací v horkovzdušné komoře nedosahuje požadovaných hodnot pevnosti vyšších než 30 N na jeden vlasový výstup.

Koncentrace disperze je 57 %, tedy z vodných 400 g.m⁻² je sušiny 224 g. Hodnoty jsou dostačující zatím pouze pro trávníky nižší kvality. Vzorek s nejvyšší pevností ukotvení byl č. 28.



Obr. 26 Aplikovaná disperze HYPOD na rubové straně fotbalového trávníku před koagulací v horkovzdušné troubě

Finančně je tato PE disperze několikrát dražší než běžný SBR zátěr, ale není zapotřebí k fixaci vlasu použít takové množství. V dalším testování tedy bylo zjištěno, jaké je minimální množství sušiny pro ukotvení vlasu v případě pěny.

3.3.6.4 Pěněná PE disperze

Napěněním disperze, která splňuje požadavky zadavatele, je možné zajistit nižší náklady na sušení z důvodu nižšího objemu vody. Viskozita takové disperze je zároveň nižší. Objem narůstá s podílem vzduchu. K napěnění dochází v mixéru, kde se

mechanicky disperze směsuje s atmosférickým vzduchem, fotografie na obr. 27 zachycuje aplikaci pěny na trávnickový rub tvořený pásky. Samotné napěnění je snadno nastavitelné délkou mixování, kdy po dosažení maxima napěnění dochází naopak k její destrukci. Pro testování bylo použito povrchově aktivní látky (PAL) Aerosol OT-75, která napomáhala napěnění. Koncentrace této PAL byla minimální, pouhé 0,2 % hm.



Obr. 27 Zpěněná disperze na rubové straně, s vyšším podílem napěněním docházelo k úspoře materiálu

Vzorek	Typ vlasu	Sušina [g.m ⁻²]	Vlastnosti ukotvení
33	Páska	171	homogenní nános; průměrně F=23,15 N; přebytek materiálu
34	Multifil		zaplnění všech mezivlákných prostor; pevnost nedostatečných 26,64 N
35	Páska	114	plocha vzorku kompletně pokryta; F=22,63 N
36	Multifil		pevnost 25,35 N; limitní hodnota sušiny
37	Páska	57	nehomogenní zátěr; ukotvení pevnosti pouze 18,73 N
38	Multifil		vlas trávniku ukotven nepravidelně; hodnota pevnosti maximálně 9,5 N

Tab. 9 Výsledky testování PE pěny

Od této metody se očekává snížení množství sušiny potřebné k homogennímu ukotvení všech vlasů trávniku. Pěna s vyšším objemem vzduchu než běžná disperze pokryje povrch snadněji a přítlačné válce zajistí vniknutí pěny do všech prostor vlasu a textile. Nalezením ideálního poměru sušiny a disperzního prostředí se zajistí snížení nákladů na materiál při dodržení požadavků a norem FIFA. Přídavek PAL velmi napomáhá zpěnění, díky hydrofobní a hydrofilní části podobně jako dispergátory u disperze. Povrchově aktivní látky jsou více popsány v literatuře [6].

4 DISKUZE

4.1 Vhodnost výběru jednotlivých návrhů

Z všech testovaných vzorků jasně vyplynulo, že pro tento povrch je nejvíce rizikové překročení teploty měknutí PE-LLD vlasu. S teplotou nad 109 °C docházelo k negativním nevratným fyzikálním změnám. Při teplotě nad 130 °C byl již vlas kompletně roztaven. Povrchovým natavením se většinou vlas ukotvil pevně, ovšem tavný spoj byl velmi křehký. Důvodem bylo pravděpodobně přeskupení molekul při bodu měknutí, kdy se molekuly snaží dosáhnout co nejnižší energetické rovnováhy. Tato změna by se dala popsat 2. termodynamickým zákonem, kdy se tepelná energie dodaná do systému využila k přeskupení molekul, což popisuje J. C. Maxwell v podobě myšlenkového experimentu, tzv. Maxwellova démona. Výsledkem je, že se termoplastická vlákna smršťují a dlouhým uspořádaný systém se hroutí v neuspořádaný. Vlákna takto termicky smrštěná vykazují větší tažností, protože se řetězce shlukují a přeskupují zpět do Gaussových klubek.

Skript naprogramovaný v Matlab 2007b vypočítává průměrné pevnosti, ale i další hodnoty naměřených dat (směrodatná odchylka, rozptyl, variační koeficient, kvantily atd.) a také vykresluje grafy hustoty pravděpodobnosti, Q-Q graf, krabicový graf apod., viz přílohy. Zde je možné vidět, že se jedná o normální rozdělení pravděpodobnosti, tzv. Gaussovo rozdělení. Distribuční křivka funkce a odhad rozložení pravděpodobnosti toto rozdělení potvrzují. V krabicovém grafu bylo zaznamenáno minimum vybočujících měření u testovaných vzorků.

Optimalizací jednotlivých návrhů se zabývají následující kapitoly s detailními popisy pozitivních i negativních stránek dané technologie.

4.1.1 Využití termoplastického chování samotného trávnicku

Testování fixace samotných PE-LLD vláken natavením bylo první, nejjednodušší variantou ukotvení trávnickového vlasu. Ohřev kontaktním teplem, infračerveným zářičem a horkým vzduchem mělo zajistit homogenní natavení

polymeru. Některé technologie, jako například pojení ultrazvukem, byly z důvodů finanční náročnosti a komplikovanosti technologie ihned zapovězeny. Kapitola 3.1.1 detailně mapuje použitá zařízení, nastavení přístrojů, metodiku i průběžné výsledky jednotlivých testů. Výsledky ohřevu a natavení samotných vláken k nosné tkanině nebyly uspokojivé. Maximální pevnosti ukotvení vlasu se pohybovaly v rozmezí 22 - 25 N. Fibrilovaná páska držela po natavení celý vlasový výstup. U monofilů ovinutých PES kabílkem vznikne natavením svrchních vláken ale problém, který byl dříve popsán v kapitole 2.6.3.2. Při vtlačování taveniny do prostoru mezi vlákny v multifilu dojde ihned ke ztrátě tepelné energie a k zvýšení viskozity. Tavenina ztratí tok a není již možné dosáhnout dokonalého vyplnění všech prostor mezi vlákny v multifilu i fibrilované pásce. Takový neukotvený vlas umělého trávníku má minimální snahu v tkanině držet a je snadno vyjmutelný.

4.1.2 Povrstvení rubové strany netkanou textilií

Myšlenka využití laminace netkanou textilií z PE, který má nižší bod tání, zaujala zástupce JUTY a výsledkem byla výroba vzorku trávníku laminovaného NT PETEX. Hodnoty pevnosti ukotvení vlasu však nebyly uspokojivé.

Vznikl druhý návrh trávníku již s všítou NT PETEX, který je detailně popsán v kapitole 3.3.2. Mezi nosnou tkaninou a PE-LLD vlasem byly navíc všity dvě vrstvy NT PETEX o celkové plošné hmotnosti 140 g.m^{-2} . Z rubové strany se opakovalo natavování kontaktním ohřevem, IČ zářičem i ohřevem vzduchem. Plošná hmotnost svrchní vrstvy se upravovala vrstvením NT PETEX 70 ($70 \text{ až } 350 \text{ g.m}^{-2}$). Textilie se výborně prohřívala a menší průměr vláken zajistil potřebné snížení teploty tavení o několik stupňů na cca $104 \text{ }^{\circ}\text{C}$, čímž se ochránila vlákna trávníkového vlasu. Při nejvyšších plošných hmotnostech nebylo již zajištěné homogenního natavení spodních vrstev NT. Dříve, než se prohřál celý kompozit, docházelo na povrchu laminace k degradaci. Pravděpodobně nebyla zajištěna homogenní teplota ohřevného média, které lokálně termicky zničilo polymerní vlas.

Polymer, z něhož je vyrobena NT PETEX, má velmi vysokou hodnotu MFI, který je ukazatelem viskozity a tedy zvyšuje stékavost. Tento materiál byl zvolen ke kompozitnímu sendvičovému modelu právě z tohoto důvodu. Metoda byla také

kladně ohodnocena zadavatelem za inovaci, ale protože výsledky pevnosti ukotvení vlasu neodpovídaly předpokladům, opustilo se od dalšího prohlubování využití tohoto natavování. Jelikož je surovina pro NT PETEX vyráběna jiným chemickým producentem, vykazuje pravděpodobně právě proto nižší adhezi mezi těmito materiály.

4.1.3 Aplikace tavného lepidla

Ukotvení EVA kopolymeru mělo nadprůměrné výsledky pevnosti ukotvení vlasu multifilu. Lepidlo je nutné nanášet přímo na řádky vlasu, protože při plném pokrytí rubové strany je tento produkt finančně nedostupný. Zde ovšem nastává problém s přesností lepení, jelikož výrobce má v portfoliu mnoho druhů trávníků s rozdílnými hustotami vlasu. Praskání, vyšší náklady na vstupní surovinu a pořizovací cena povrstvovací linky jsou hlavními negativy této technologie a popisuje je více kapitola 4.2.

Zadavateli je nabízena možnost aplikace hot-melt lepidla soukromou společností Linocele. Tato společnost garantuje lepší mechanické vlastnosti speciálního hot-melt lepidla, včetně vyšší pevnosti a elasticity. Zatím není rozhodnuto o koupi tohoto produktu, protože je tento směr výroby velmi finančně náročný a musí být připravena nová povrstvovací hot-meltová linka. Po dalším dialogu s výrobním ředitelem se tento směr zatím odsunul do pozadí.

4.1.4 Ukotvení laminací PE-LLD fólie

Aplikace PE-LLD fólie laminací na rubovou stranu trávniku není vhodnou metodou. Docházelo k degradaci a neúplnému ukotvení vlasu. Netkaná PP textilie dále znesnadňovala uchycení fólie k podkladové textilii. Výsledky u pásy jsou lepší než u multifilu, protože fibrilovaná páska byla natavena fólií svrchu, a tím se celý vlas ukotvil. Maximální pevnost ukotvení pásy nepřesahovala průměrně 15 N.

4.1.5 Povrstvení nízkoviskózní taveninou

Teplota taveniny měla negativní vliv na morfologii vláken, který byl dříve popsán v kapitole 4.1. Po vychladnutí celého vzorku vlas praskal v místě dotyku s taveninou, protože zde pravděpodobně došlo k úplné destrukci polymerních řetězců. Pokud by ovšem tavenina vlas ukotvila dostatečně bez poškození, bylo by jednou z dalších možností aplikovat taveninu rozprašováním na povrch. Vzhledem k nízkým pevnostem ukotvení vlasu, nestejnoměrnosti polymerní vrstvy a časté destrukci vláken vlasu není ani jedna zde popsaná metoda vhodná.

4.1.6 Využití disperzí

Vzhledem ke stávající výrobní lince je disperze nejlepší volbou. Testováno bylo více jak osm typů vodných disperzí s různými koncentracemi. Nejprve byly zamítnuty reaktoplastické dvousložkové disperze, které po zesítnění již není možné depolymerizovat. Pryžové termoplastické disperze byly též zamítnuty, protože cena sušiny takové disperze je až 10x vyšší než u stávající technologie. U disperzí bylo zapotřebí vhodně přizpůsobovat teplotu a délku sušení. Aditiva jsou nastavena na teplotu, při které se iniciují, katalyzují a dokončují polymerní reakci, tzv. emulzní polymeraci. Vysoušení vodného podílu bylo při působení teploty 24 °C / 24 hodin, 60 °C / 1hodina a při 105 °C / 15 minut. Výsledky potvrdily, že vyšší teplota blížící se až k teplotě měknutí PE-LLD vláken, měla pozitivní vliv na pevnost ukotvení disperze. Doba sušení se tím samozřejmě snížila, což je pozitivní efekt z pohledu ke kontinuální výrobě. Napěnění disperzí proběhlo v mechanickém mixéru, kdy došlo k cca třinásobnému zvýšení objemu.

4.1.6.1 Polyvinylacetátová disperze

Testována PVAc disperze měla ideální předpoklady pro ukotvení vlasu, protože se používá v průmyslu výroby koberců. Není tavitelná, ale naopak je lehce odbouratelná. Viskozita byla vhodná a přibližně 7 Pa.s. Po koagulaci v horkovzdušné

komoře při teplotě 60 °C nastalo měknutí polymerního filmu, který ale následně nedokázal upevnit vlákna vlasu v PP tkanině. Vzhledem k mísení této disperze vodou, byla testována i poloviční koncentrace 27,5 %. I zde se opakoval stejný efekt nízké pevnosti polymeru. Tato disperze není vhodná pro umělé trávníky, jelikož je zde nízká pevnost ukotvení vlasu, ale je zde prostor pro další optimalizaci, např. kopolymerizaci [6]. Více o PVAc je popsáno v kapitole 3.1.6.1.

4.1.6.2 Polyuretanové disperze

Obě získané PU disperze byly testovány souběžně, i když pouze u jedné z nich je termoplastické chování. Více je popsáno v kapitole 3.1.6.2. Termoplastická disperze ukotvila vlas trávníku s odlišnými výsledky. V závislosti na tom bylo zjištěno, že u multifilu docházelo k vyšším pevnostem ukotvení a naopak u pásky byla pevnost hluboko pod hodnotu 30 N na jeden vlasový výstup. Z pozorování bylo také vypořádováno, že do multifilu na rozdíl od pásky disperze TPU zatékala lépe.

4.1.6.3 Polyetylenové disperze a pěna

Posledním testovaným materiálem byly termoplastické PE disperze. Od výrobců a prodejců bylo získáno pět vzorků. Jediný vzorek, jenž měl dle pozorování vhodnou elasticitu, ale nepraskal, byl HYPOD od společnosti Dow Chemical. Ostatní disperze (více popsány v kap. 3.3.6.3) vykazovaly vysokou křehkost, čímž při testu zmražením (- 18 °C) ztratily veškerou adhezi k vláknům. Takové vlákno šlo lehce vyjmout z nosné tkaniny a polymerní film zdegradoval do podoby prášku.

Zpěněné vzorky HYPOD disperze vykazovaly nejmenší požadavky na množství polymeru, tím pádem razantně snížily celkové náklady na aplikaci. Při aplikaci sušiny o plošné hmotnosti do 150 g.m⁻² je výsledná cenová hladina výrobku srovnatelná s aktuálně používanou technologií SBR pryže. Napěněná disperze měla lepší výsledky, viz srovnávací tabulka č. 10, ovšem je zapotřebí dalšího zkoumání zvýšení adheze a nastavení teploty koagulace. Možností zvýšení pevnosti ukotvení vlasu je např. chemické rozrušení povrchu vlákna či příčné rastrování vlasu apod. Pevnost

ukotvení častěji přesáhla hodnotu 30 N než samotná nezpěněná disperze. Došlo ke kompletnímu zaplnění všech prostor mezi vlákny, následkem zvýšení objemu disperze napěním.

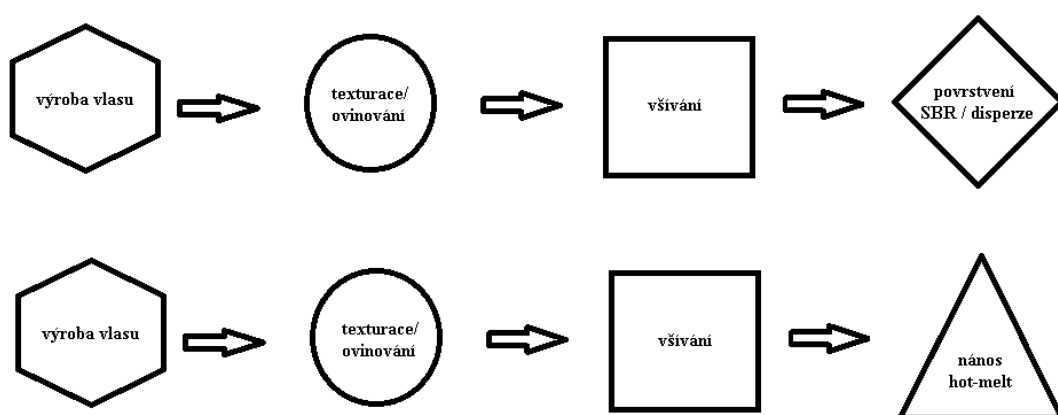
Tabulka níže porovnává výsledky testovaných metod ukotvení vlasu. Známkování je v rozmezí 1 - 5, kdy 1 je nejlepší a 5 nejhorší.

TECHNOLOGIE			
Ohřev samotných vláken	Průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	Známka	Poznámka; hodnocení
Kontaktně	17,3/15,4	5	neukotvení všech vláken; energetický náročný
IČ zářičem	16,4/19,3	4	nízká pevnost; homogenita vrstvy
Horkým vzduchem	10,1/18,1	5	neukotvení všech vláken; nízká pevnost
Využití NT PETEX	Průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	Známka	Poznámka; hodnocení
Kontaktně	14,3/10,3	5	nízká pevnost; degradace vlasu
IČ zářičem	13,5/13,1	5	neukotvení všech vláken
Horkým vzduchem	7,9/8,3	4	neukotvení všech vláken; kompletní rychlé natavení
Další metody	Průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	Známka	Poznámka; hodnocení
Hot-melt lepidlo EVA	21,7/40,5	3	drahý vstupní materiál; změna linky; deformace vláken; dobře optimalizovatelné
Laminace PE fólií	14,5/12,1	5	nízká pevnost; neukotvení všech vláken
PE tavenina	9,5/6,9	5	deformace vláken; nehomogenní
Disperze, koncentrace, sušina	Průměrná pevnost pásky/ multifilu [N]	Známka	Poznámka; hodnocení
PVAc, 55 %, 165 g	17,4/18,6	4	nízká pevnost; dostupné; levné
TPU, 48 %, 144 g	13,2/30,5	3	štiplavý odér; vyšší cena
PE, 57 %, 171 g	19,5/23,8	3	vyšší cena; homogenní vrstva
Pěna PE, 57 %, 171 g	23,2/26,6	2	finančně srovnatelné náklady s SBR; ukotvení pod 30 N – nutné další testování

Tab. 10 Kompletní porovnání výsledků pevností včetně hodnocení známkou

4.2 Zhodnocení finanční náročnosti jednotlivých návrhů

Na obr. 29 je zobrazena aktuální výrobní technologie SBR v porovnání s novou linkou ukotvení vlasu v nosné tkanině, např. IČ ohřevem, nánosem tavného lepidla, postřikem taveninou, laminací fólií apod. Schéma názorně dokládá, že při využití stávajícího zařízení je jediná možností aplikace, a to nános termoplastické disperze v podobě pěny. K použití jiných technologií je zapotřebí náhrada zátěrového zařízení (zobrazeno trojúhelníkem) za jinou technologii, která bude pravděpodobně finančně velmi náročná.



*Obr. 29 Aktuální výroba (nahore) vhodná i pro jiné disperze či pěny;
změna technologie ukotvení vlasu v poslední etapě výroby (dole)*

VARIANTA	Možnost využití stávající technologie	Dostupná surovina od více dodavatelů	Nutnost nákupu nové technologie	Finanční náročnost
Natavení vláken	NE	ANO	ANO	NE
Sendvič	NE	ANO	ANO	NE
Laminace fólií	NE	ANO	ANO	NE
Nános taveniny	NE	ANO	ANO	ANO
Tavné lepidlo	NE	ANO	ANO	ANO
Disperze	ANO	NE	NE	ANO
Disperzní pěna	ANO	NE	NE	NE

Tab. 11 Porovnání vlivu změny výrobní linky z finančního hlediska

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější zachování stávající povrstvovací SBR linky a pouze optimalizovat zpěněnou PE disperzi od společnosti Dow Chemical. Nevýhoda této metody se ukazuje, že je u tohoto specifického polymeru jediný výrobce, viz tab. 11.

Ušetřené náklady za nové zařízení je možné investovat do zvýšení povědomí zákazníků marketingovou reklamou. Pokud by se vedení rozhodlo pro celkovou změnu procesu ukotvení vlasu, je nejvhodnější zimní období, kdy se umělé trávníky vyrábějí v minimálním množství.

5 ZÁVĚR

Umělý trávník má své nezpochybnitelné místo alternativního speciálního povrchu. V současnosti je realizováno nejvíce pokládek v odvětví rekreace a sportu. Technické trávníky také začínají pomalu vytlačovat běžné povrchy pro chodce na exhibičních výstavách automobilů, sportu, architektury apod. V posledních deseti letech se umělé trávníky stávají nedílnou součástí tréninkových sportovních areálů s možností celoročního aktivního využívání a minimální údržbou. Tento povrch se stal též nezbytným pro profesionální zápasy pozemního hokeje.

V této diplomové práci byly studovány možnosti nahrazení SBR pryže materiálem, který je chemickým složením bližší použitým surovinám pro výrobu vlasu a podkladové textilie, tedy termoplastům. Zadavatel této práce vyžadoval návrh možností nahrazení SBR pryže.

Teoretická část popisuje celý proces výroby, strukturu i vlastnosti trávníků včetně obrazové dokumentace a nákresů. Dále popisuje použité materiály, vlastnosti samotného SBR, základní testování trávníku dle norem FIFA a aktuální možnosti recyklace i likvidace použitého trávníku, které vyplývalo ze zadání DP. V závěru je nastíněn návrh výroby trávníku, který by byl šetrnější k životnímu prostředí díky kompletní výrobě z recyklovatelných materiálů. Ekonomické aspekty změny výrobní linky jsou též popisovány v teoretické části a v diskuzi.

V experimentální části jsou detailně popsány testované vzorky, materiály a zařízení použité na ukotvení vlasu trávníku. Vybrané kapitoly se též zabývají různými technologiemi a také využitím povrchově aktivních látek k zpěnění disperzí. Výsledky testování jsou statisticky zpracovány v programu Matlab 2007b. V závěrečné tabulce jsou porovnány jednotlivé návrhy ukotvení vlasu z různých hledisek. Vše je doplněno o nákresy návrhů struktury a rozbor problematiky aplikace. Základní shrnutí výsledků je vždy uvedené v příslušné kapitole a také v závěrečné diskuzi.

Testování dokázalo experimentálně, že lze vyrobit plně recyklovatelný trávník. Potvrdil se předpoklad teoretické části, že nový výrobek bude šetrnější k životnímu prostředí. Materiál, který bude nadále optimalizován a testován jako alternativa k současně používané SBR pryži, je vodná termoplastická PE disperze HYPOD.

Plně recyklovatelný umělý trávník jednoho dne vytlačí aktuální produkci trávniku s SBR zátěrem. Protože společnost JUTA již dnes pracuje na vzniku takového produktu, získá tím ekonomický i marketingový náskok nad konkurencí a zároveň bude vyrábět šetrnější produkty k životnímu prostředí.

6 LITERATURA

- [1] *Pozemníhokej.cz* [online]. [vid. 2013-03-11]. Dostupné z [www:](http://www.pozemnihokej.cz/download/pravidla.pdf)
<<http://www.pozemnihokej.cz/download/pravidla.pdf>>.
- [2] FIFA Quality Concept for Football Turf, *Step by step to a FIFA Recommended football turf field*, Švýcarsko, 2012
- [3] FIFA Quality Concept for Football Turf, *Handbook of test methods*, Švýcarsko, 2012
- [4] FIFA Quality Concept for Football Turf, *Handbook of Requirements*, Švýcarsko, 2012
- [5] JUTA a.s., *Výroba plně recyklovatelných umělých trávníků nové generace s profilovanými pásky*, OPPI, 2012
- [6] MLEZIVA, J. : *Polymery – struktura, vlastnosti a použití*. Česká republika; Sobotáles, 1993.
- [7] MLEZIVA, J.; KÁLAL, J.: *Základy makromolekulární chemie*. ČSR : SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1986.
- [8] KOVÁŘ, R.; DRAGEROVÁ, E. : *Technologie I., 3. část, Technologie pletení a proplétání*. ČSR; Liberec 1985
- [9] STEIB, Ch. : *Licocene®: A revolutionary hot melt system for carpets*, Polish Formulators, 08. 02. 2005
- [10] RUSSELL S. J. : *Handbook of nonwovens*, 530 s, Boca Raton, Fla. : CRC Press; Cambridge : Woodhead Pub. Ltd., 2007
- [11] *Eckralupy.cz* [online]. [vid. 2013-04-14]. Dostupné z [www:](http://www.eckralupy.cz/clanky.php?page=nakladani_KO)
<http://www.eckralupy.cz/clanky.php?page=nakladani_KO>.
- [12] *Arcon-environmental.cz* [online]. [vid. 2013-04-12]. Dostupné z [www:](http://www.arcon-environmental.cz/applications/38/)
< <http://www.arcon-environmental.cz/applications/38/>>.
- [13] AMI consulting, *The Global Market for Artificial Turf*, 2010

- [14] *Mecadi.com* [online]. [vid. 2013-05-04]. Dostupné z www:
<http://www.mecadi.com/en/literature_tools/encyclopedia/categorical/Thermoplastic/Styrene-Butadiene-Copolymer_SB/>.
- [15] *Pnas.org* [online]. [vid. 2013-03-12]. Dostupné z www:
<<http://www.pnas.org/content/103/42/15289/F1.expansion.html>>.
- [16] *Cabot.cz* [online]. [vid. 2012-11-20]. Dostupné z www:
<<http://www.cabot.cz/cs/vyroby/aplikace>>.
- [17] *Juta.cz* [online]. [vid. 2012-10-07]. Dostupné z www:
<http://www.jutagrass.cz/?id=landscaping&typ=scenicspring#typy_ikony_blok_zobraz>.
- [18] SANDKUEHLER, P. et al. : *Conference of the International Sports Engineering Association (ISEA). Performance artificial turf components – fibrillated tape*. 2010, Procedia Engineering 2; 3367–3372
- [19] VAN DEN EIJNDE, W. et al. : *Journal of Science and Medicine in Sport. Psychosensorial assessment of skin damage caused by a sliding on artificial turf: The development and validation of a skin damage area and severity index*. 2013, JSAMS-860; No. of Pages 5
- [20] *SambuFC.com* [online]. [vid. 2013-05-02]. Dostupné z www:
<http://www.sambuFC.com/?page_id=1363>.
- [21] *Chemos.sk* [online]. [vid. 2013-05-02]. Dostupné z www:
<<http://www.chemos.sk/podlahove-systemy/lepidlo-na-umely-travnik/chemos-tr-21/>>.
- [22] *Wikipedia.com* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27. 12. 2012, [vid. 2013-03-11]. Dostupné z www:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Sustainable_development.svg>.
- [23] *Wikipedia.com* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 16. 5. 2013, [vid. 2013-05-21]. Dostupné z www:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic_polyurethane>.

PŘÍLOHY

OBSAH:

I) vyhodnocení vybraných vzorků

VZOREK	průměrná pevnost [N]	strana, kde jsou graf a data
č. 1 kontaktní natavení vlasu	$17,2 \pm 5,6$	71
č. 13 laminace NT PETEX	$13,5 \pm 4,2$	72
č. 14 tavné lepidlo EVA	$40,5 \pm 6,1$	73
č. 24 TPU 20025F	$30,5 \pm 6,4$	74
č. 28 disperze HYPOD	$23,8 \pm 4,7$	75
č. 35 pěna HYPOD	$26,7 \pm 6,5$	76

II) programovací kód skriptu z Matlab 2007b.....77

obsah CD:

diplomová práce, PDF

kopie zadání DP, PDF

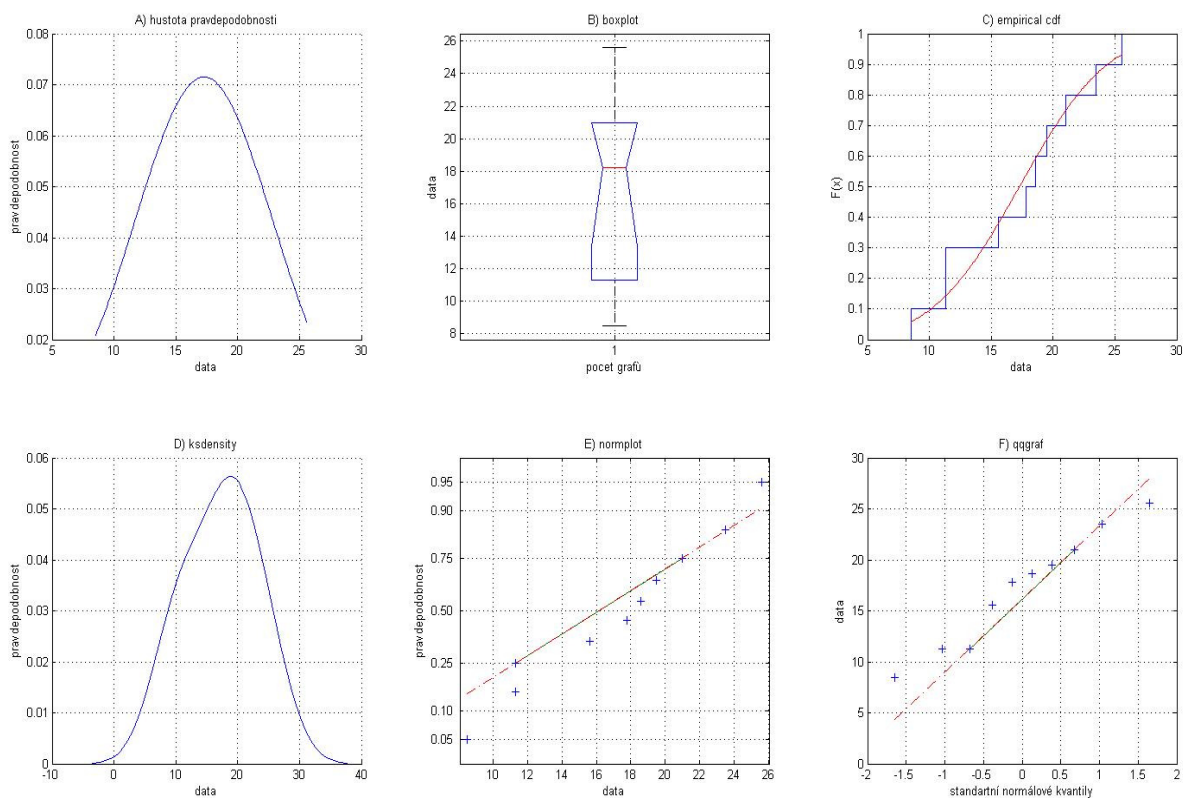
použitá literatura

obrazová dokumentace

pruzkum.m, skript M-file Matlab 2007b

I) vyhodnocení vybraných vzorků

Vyhodnocení vzorku č. 1 v programu Matlab.



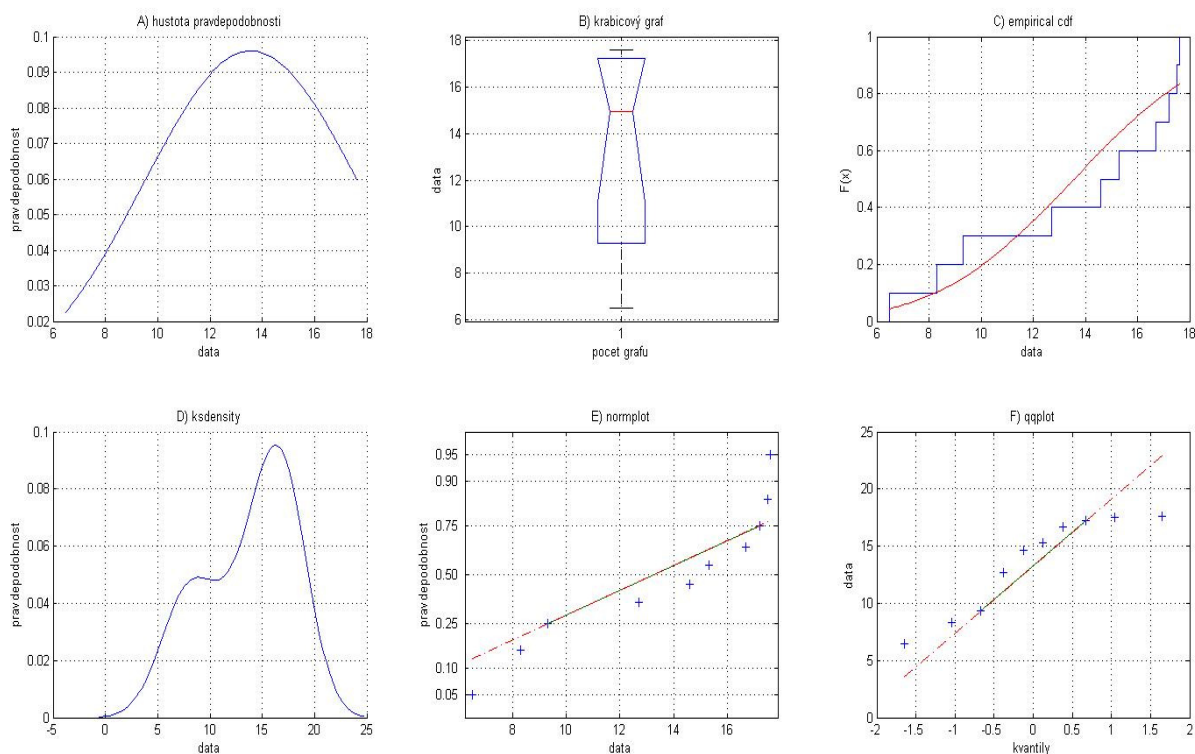
Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 1:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 17.2700	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 11.3000	rozptyl: 31.1246
median: 18.2000	smerodatna_odchylka: 5.5789
horni_kvantil: 21	variace_koeficient: 32.3042
modus: 11.3000	rozpeti_dat: 17.1000
orezany_prumer: 17.2700	rozpeti_kvantilu: 9.7000
suma: 172.7000	sikmost: -0.1480
minimum: 8.5000	spicatost: 1.9125
maximum: 25.6000	

Vyhodnocení vzorku č. 13 v programu Matlab.



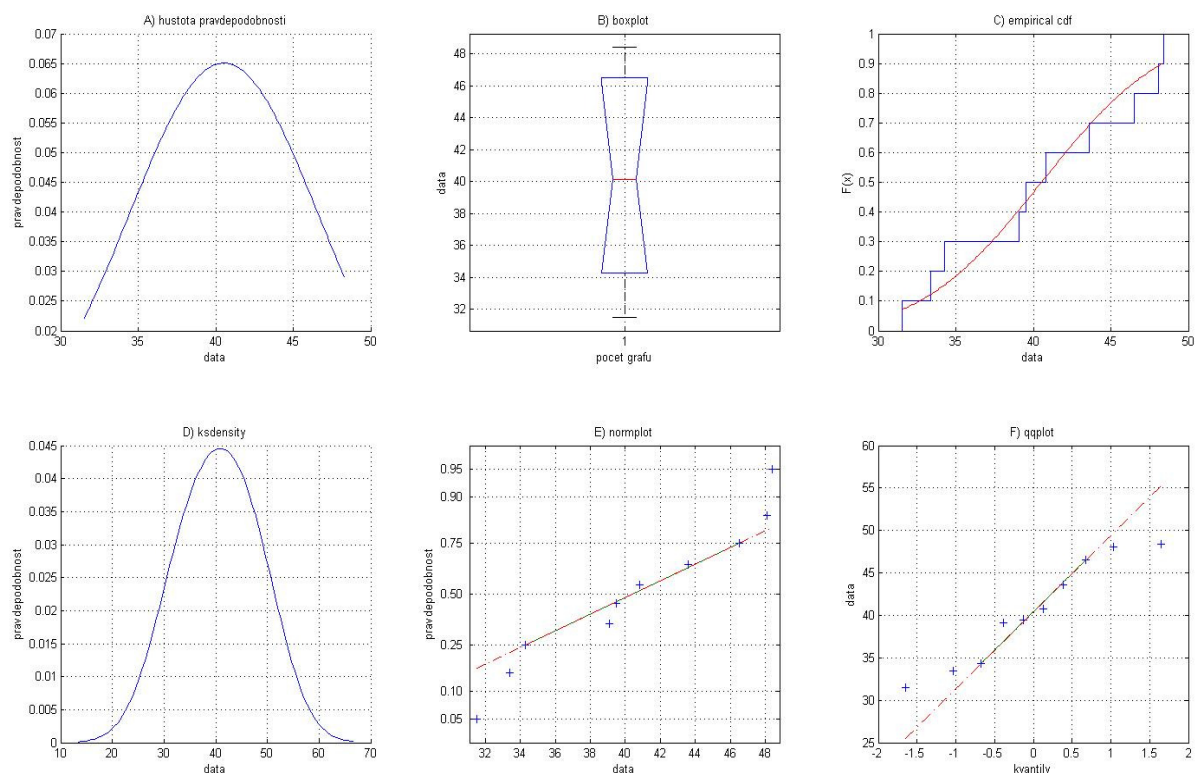
Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 13:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 40.5210	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 34.3000	rozptyl: 37.6106
median: 40.1500	smerodatna_odchylka: 6.1328
horni_kvantil: 46.5000	variace_koeficient: 15.1347
modus: 31.5100	rozpeti_dat: 16.8900
orezany_prumer: 40.5210	rozpeti_kvantilu: 12.2000
suma: 405.2100	sikmost: -0.0863
minimum: 31.5100	spicatost: 1.6747
maximum: 48.4000	

Vyhodnocení vzorku č. 14 v programu Matlab.



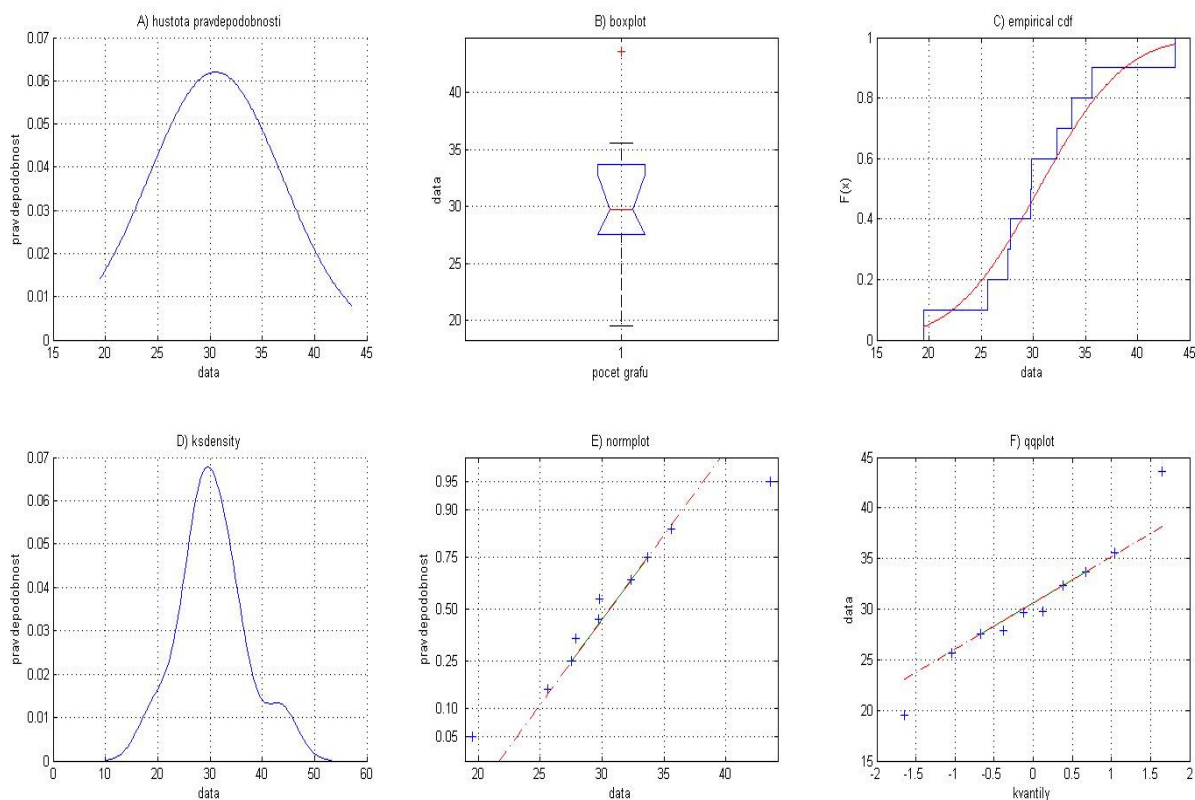
Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 14:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 13.5700	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 9.3000	rozptyl: 17.2734
median: 14.9500	smerodatna_odchylka: 4.1561
horni_kvantil: 17.2000	variacni_koeficient: 30.6274
modus: 6.5000	rozpeti_dat: 11.1000
orezany_prumer: 13.5700	rozpeti_kvantilu: 7.9000
suma: 135.7000	sikmost: -0.5993
minimum: 6.5000	spicatost: 1.8143
maximum: 17.6000	

Vyhodnocení vzorku č. 24 v programu Matlab.



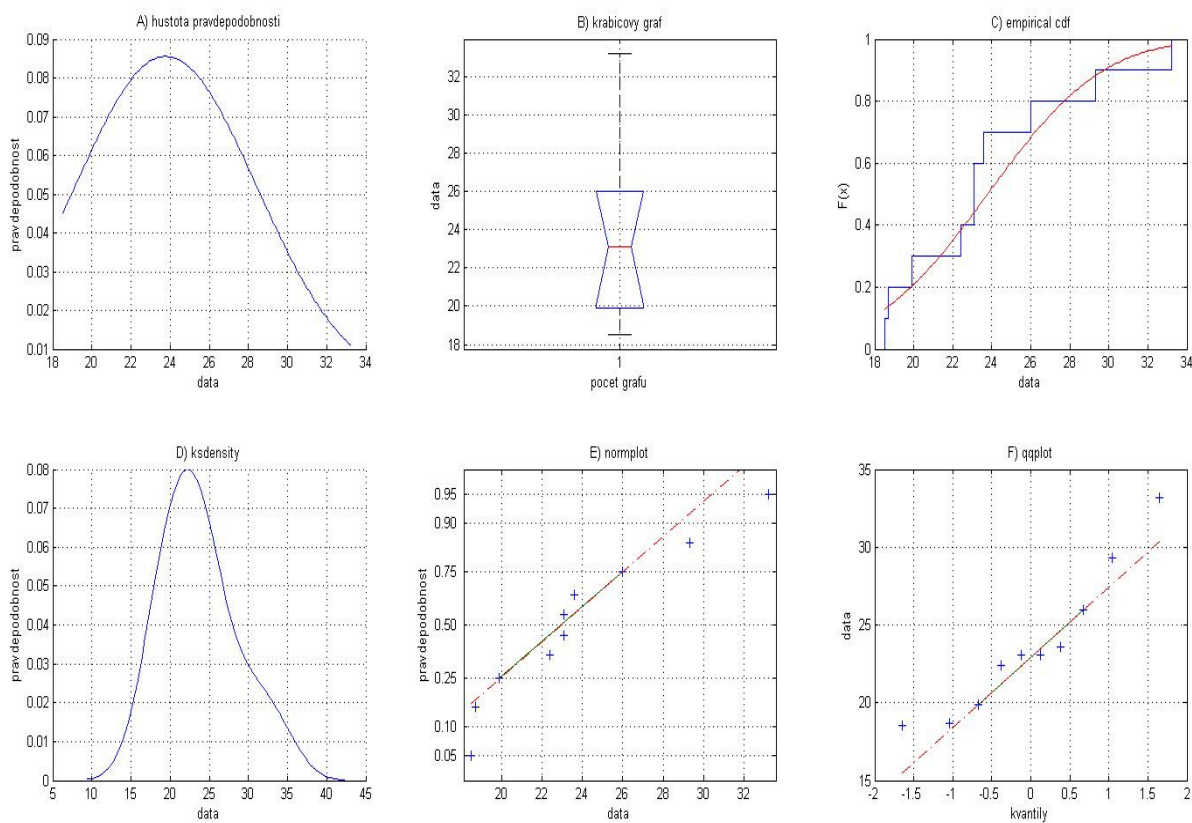
Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 24:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 30.5240	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 27.5300	rozptyl: 41.3969
median: 29.7650	smerodatna_odchylka: 6.4340
horni_kvantil: 33.7000	variacni_koeficient: 21.0786
modus: 19.5100	rozpeti_dat: 24.0900
orezany_prumer: 30.5240	rozpeti_kvantilu: 6.1700
suma: 305.2400	sikmost: 0.3974
minimum: 19.5100	spicatost: 3.2730
maximum: 43.6000	

Vyhodnocení vzorku č. 28 v programu Matlab.



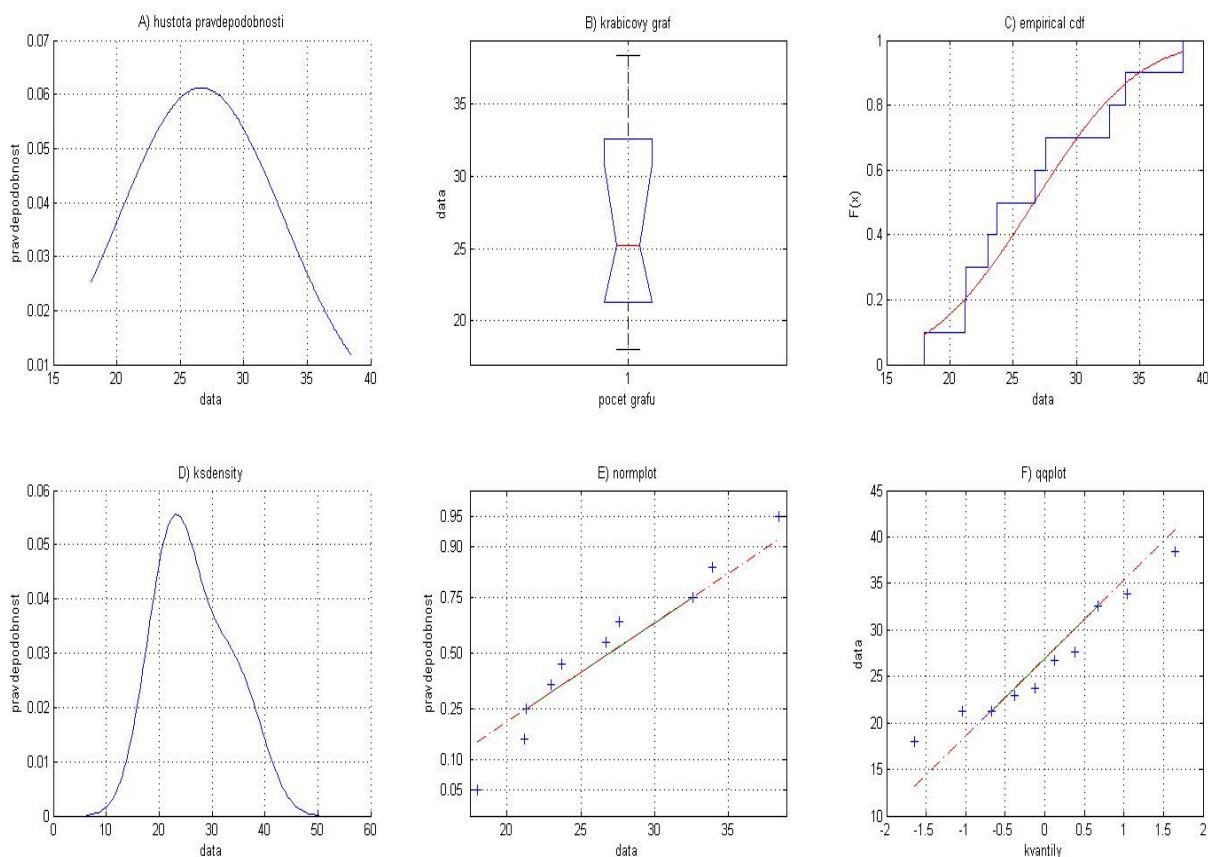
Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 28:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 23.7800	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 19.9000	rozptyl: 21.7484
median: 23.1000	smerodatna_odchylka: 4.6635
horni_kvantil: 26	variacni_koeficient: 19.6111
modus: 23.1000	rozpeti_dat: 14.7000
orezany_prumer: 23.7800	rozpeti_kvantilu: 6.1000
suma: 237.8000	sikmost: 0.7795
minimum: 18.5000	spicatost: 2.7408
maximum: 33.2000	

Vyhodnocení vzorku č. 35 v programu Matlab.



Graficky znázorněné základní parametry naměřených dat, přesněji vzorku č. 35:

A) odhad hustoty pravděpodobnosti B) krabicový graf C) empirická a teoretická distribuční funkce D) jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti E) grafické rozložení pravděpodobnosti F) Q-Q graf

Výpočty statistických hodnot z měření:

aritmeticky_prumer: 26.6400	pocet_dat: 10
dolni_kvantil: 21.3000	rozptyl: 42.4560
median: 25.2000	smerodatna_odchylka: 6.5158
horni_kvantil: 32.6000	variacni_koeficient: 24.4588
modus: 18	rozpeti_dat: 20.4000
orezany_prumer: 26.6400	rozpeti_kvantilu: 11.3000
suma: 266.4000	sikmost: 0.5037
minimum: 18	spicatost: 2.1012
maximum: 38.4000	

II) programovací skript v Matlab 2007b

```
function tab=pruzkum(data)      %pruzkumova analiza dat
data=[27.6 23 23.7 38.4 21.2 33.9 21.3 32.6 26.7 18]

xm=mean(data);                %aritmeticky prumer
x025=prctile(data,25);        %dolní kvantil
x05=median(data);             %medián
x075=prctile(data,75);        %horní kvantil
xmo=mode(data);               %modus
xu=trimmean(data,10);         %ořezaný průměr
su=sum(data);                 % suma
mi=min(data);                 %minimum
ma=max(data);                 %maximum
n=length(data);               %počet dat
ro=var(data);                 %rozptyl
s=std(data);                  %směrodatná odchylka
v=(s/xm)*100;                 %variační koeficient
R=range(data);                %rozpětí dat
RI=iqr(data);                 %mezikvantilové rozpětí
si=skewness(data);            %šikmost
spi=kurtosis(data);           %špičatost

subplot(2,3,1),histogram(data,10),title('hustota pravdepodobnosti')
x=mi:0.1:ma;                  %od minama po maximum
fx=normpdf(x,xm,s);           %funkce pro proložení normálního rozložení
hold on
plot(x,fx)

subplot(2,3,2),boxplot(data,'notch','on'),title('boxplot')

subplot(2,3,3),ecdf(data),title('empirical cdf')
fd=normcdf(x,xm,s);
hold on
plot(x,fd,'r')                % barva červená

subplot(2,3,4),histogram(data,10);
[f,xi]=ksdensity(data),hold on
plot(xi,f,'b'),title('ksdensity') %jádrový odhad hustoty

subplot(2,3,5),normplot(data),title('normplot')

subplot(2,3,6),qqplot(data),title('qqplot')

tab=struct('aritmeticky_prumer',xm,'dolni_kvantil',x025,'median',x05,'horni_kvantil',x075,...
'modus',xmo,'orezany_prumer',xu,'suma',su,'minimum',mi,'maximum',ma,'pocet_dat',n,...
'rozptyl',ro,'smerodatna_odchylka',s,'variacni_koeficient',v,'rozpeti_dat',R,...
'rozpeti_kvantilu',RI,'sikmost',si,'spicatost',spi);
```